

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

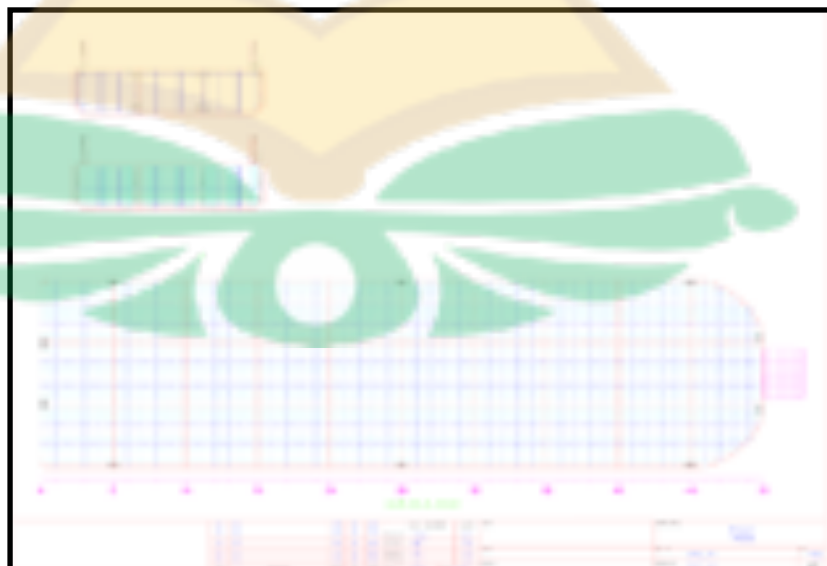
Bab ini berisi pembahasan mengenai penelitian yang dilakukan dalam menganalisis tegangan (*stress*) dan deformasi yang dialami kapal akibat tumpuan *airbag* dengan bantuan *Software Maxsurf Modeler* dan *Ansys Mechanical*.

4.1 Permodelan Kapal

Dalam memodelkan kapal, data yang digunakan berasal dari data awal yang diperoleh yaitu gambar konstruksi *midship* dan *profile* seperti Gambar 4.1.1 dan 4.1.2 berikut,

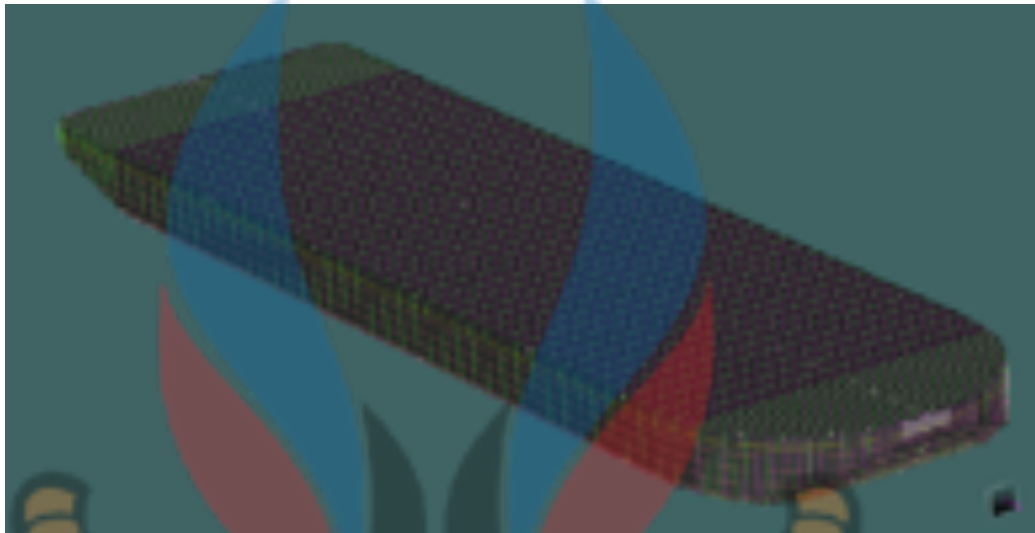


Gambar 4.1.1 Konstruksi *Profil* Penampang Memanjang



Gambar 4.1.2 Konstruksi *Midship* dan *Profil* Tampak Atas

Model lambung kapal digambarkan dengan menggunakan *software maxsurf modeler* dengan menggunakan data yang sudah tersedia. Penggambaran ulang lambung kapal dilakukan dengan tujuan mendapatkan luasan area tercelup pada setiap station penampang melintang. Berikut adalah Gambar 4.2.1 sampai dengan 4.2.4 merupakan hasil permodelan Kapal Tongkang 300 ft



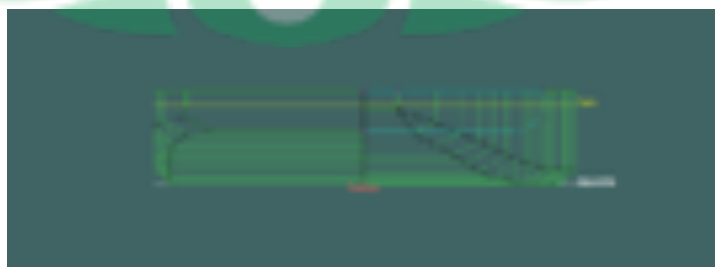
Gambar 4.2.1 3D Model



Gambar 4.2.2 *Half Breadth Plan / Water Lines*



Gambar 4.2.3 *Sheer Plan / Buttock Lines*



Gambar 4.2.4 *Body Plan*

4.2 Perhitungan Berat Lambung Kapal

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

$$\rho g \int_0^L a(x) dx = g \int_0^L m(x) dx \dots \dots \dots (4.1)$$

dimana,

$a(x)$ = Immersed cross-sectional area (m^2)

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

ρ = Mass density of sea water (or fresh water, if appropriate) (ton/m^3)

g = Gravitational acceleration (m/s^2)

Δ = displacement (ton)

Nilai $a(x)$ didapatkan dengan cara mengukur luasan masing-masing *station* pada sarat kapal sehingga didapatkan nilai $a(x)$ atau CSA. Berikut adalah Tabel 4.1 merupakan hasil perhitungan *displacement* kapal Tongkang 300 ft,

Tabel 4.1 Perhitungan Gaya Angkat / Gaya Apung / Gaya Tekan Ke atas / *Boyancy*

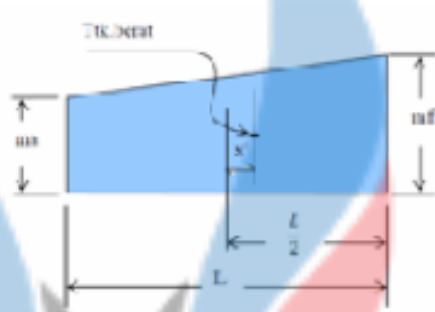
No	Station	$a(x) m^2$	$q m [ton/m]$	$m [ton/m]$ rata ²	Lengan	Momen
1	st 0	32.44	33.25	33.25	-25	-831.25
2	st 1	52.13	54.43	43.84	-24	-1052.16
3	st 2	67.21	68.89	61.66	-23	-1418.18
4	st 3	82.39	84.45	76.67	-22	-1686.74
5	st 4	98.46	100.92	92.69	-21	-1946.39
6	st 5	111.65	114.44	107.68	-20	-2153.60
7	st 6	115.77	118.67	116.56	-19	-2214.55
8	st 7	115.77	118.67	118.67	-18	-2136.06
9	st 8	115.77	118.67	118.67	-17	-2017.39
10	st 9	115.77	118.67	118.67	-16	-1898.72
11	st 10	115.77	118.67	118.67	-15	-1780.05
12	st 11	115.77	118.67	118.67	-14	-1661.38
13	st 12	115.77	118.67	118.67	-13	-1542.71
14	st 13	115.77	118.67	118.67	-12	-1424.04
15	st 14	115.77	118.67	118.67	-11	-1305.37
16	st 15	115.77	118.67	118.67	-10	-1186.70
17	st 16	115.77	118.67	118.67	-9	-1068.03
18	st 17	115.77	118.67	118.67	-8	-949.36

Lanjutan Tabel 4.1

19	st 18	115.77	118.67	118.67	-7	-830.69
20	st 19	115.77	118.67	118.67	-6	-712.02
21	st 20	115.77	118.67	118.67	-5	-593.35
22	st 21	115.77	118.67	118.67	-4	-474.68
23	st 22	115.77	118.67	118.67	-3	-356.01
24	st 23	115.77	118.67	118.67	-2	-237.34
25	st 24	115.77	118.67	118.67	-1	-118.67
26	st 25	115.77	118.67	118.67	0	0.00
27	st 26	115.77	118.67	118.67	1	118.67
28	st 27	115.77	118.67	118.67	2	237.34
29	st 28	115.77	118.67	118.67	3	356.01
30	st 29	115.77	118.67	118.67	4	474.68
31	st 30	115.77	118.67	118.67	5	593.35
32	st 31	115.77	118.67	118.67	6	712.02
33	st 32	115.77	118.67	118.67	7	830.69
34	st 33	115.77	118.67	118.67	8	949.36
35	st 34	115.77	118.67	118.67	9	1068.03
36	st 35	115.77	118.67	118.67	10	1186.70
37	st 36	115.78	118.67	118.67	11	1305.37
38	st 37	115.78	118.67	118.67	12	1424.04
39	st 38	115.78	118.68	118.68	13	1542.78
40	st 39	115.79	118.68	118.68	14	1661.52
41	st 40	115.79	118.69	118.69	15	1780.28
42	st 41	115.79	118.69	118.69	16	1899.04
43	st 42	115.75	118.65	118.67	17	2017.39
44	st 43	115.71	118.61	118.63	18	2135.34
45	st 44	113.39	116.22	117.42	19	2230.89
46	st 45	110.38	113.14	114.68	20	2293.60
47	st 46	105.94	108.59	110.87	21	2328.17
48	st 47	95.98	98.38	103.49	22	2276.67
49	st 48	75.32	77.2	87.79	23	2019.17
50	st 49	39.87	40.86	59.03	24	1416.72
51	st 50	1.05	1.08	20.97	25	524.25
		Jumlah [ton/m]		5536.30	Jumlah [m ³]	1810.11
		Displ. [ton]		10124.79	LCB dari Mid [m]	3.06

Dari perhitungan pada Table 4.1 di atas, diperoleh *displacemen* kapal adalah sebesar 10124.79 ton. Jika diketahui DWT kapal adalah 8000 ton maka *LWT* kapal sebesar 2124,78 ton.

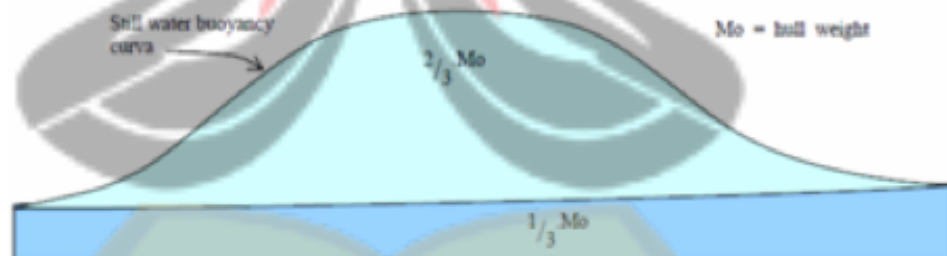
Setelah LCB kapal didapatkan, kemudian nilainya akan digunakan untuk mencari nilai m_a dan m_f untuk perhitungan berat badan kapal trapesium seperti pada Gambar 4.3. Diketahui bahwa 2/3 berat lambung adalah lengkung CSA dan 1/3 merupakan trapesium. Biasanya distribusi berat lambung kapal tanpa bangunan, hanya dipakai 1/3 bagiannya saja dari beratnya, sedangkan 2/3 bagiannya dianggap terdistribusi seperti distribusi gaya tekan ke atas pada air tenang, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.3 Tinggi m_a dan m_f untuk Berat Trapesium

$$m_a = \frac{M_o}{L} - 6 \frac{M_o \times x}{L^2} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$m_f = \frac{M_o}{L} + 6 \frac{M_o \times x}{L^2} \dots\dots\dots(4.3)$$



Gambar 4.4 Pembagian Distribusi Berat Lambung Kapal

$$\text{Lengkung CSA} = \frac{\frac{2M_0}{3}}{\text{Displ}} \times q \dots\dots\dots(4.4)$$

$$\text{Trapesium} = m_a + \frac{\text{no. station} \times (m_f - m_a)}{50} \dots\dots\dots(4.5)$$

Jika diketahui nilai x adalah 3.06 m dan M_o didapatkan dari 1/3 LWT bernilai 708.26 ton maka diperoleh nilai m_a dan m_f sebesar 6.19 ton/m dan 9.30 ton/m. Sehingga dari perhitungan tersebut didapatkan perhitungan berat badan kapal seperti pada Tabel 4.2 berikut,

Tabel 4.2 Perhitungan Berat Badan Kapal

No	Station	Distribusi hull weight [ton/m]				Lengan	Momen
		L. CSA	Trapezium	total	rata - rata		
1	st 0	4.65	6.19	10.84	10.84	-25.00	-271.00
2	st 1	7.48	6.25	13.73	12.29	-24.00	-294.84
3	st 2	9.64	6.32	15.96	14.85	-23.00	-341.44
4	st 3	11.82	6.38	18.2	17.08	-22.00	-375.76
5	st 4	14.12	6.44	20.56	19.38	-21.00	-406.98
6	st 5	16.01	6.50	22.51	21.54	-20.00	-430.70
7	st 6	16.60	6.56	23.16	22.84	-19.00	-433.87
8	st 7	16.60	6.63	23.23	23.20	-18.00	-417.51
9	st 8	16.60	6.69	23.29	23.26	-17.00	-395.42
10	st 9	16.60	6.75	23.35	23.32	-16.00	-373.12
11	st 10	16.60	6.81	23.41	23.38	-15.00	-350.70
12	st 11	16.60	6.88	23.48	23.45	-14.00	-328.23
13	st 12	16.60	6.94	23.54	23.51	-13.00	-305.63
14	st 13	16.60	7.00	23.60	23.57	-12.00	-282.84
15	st 14	16.60	7.06	23.66	23.63	-11.00	-259.93
16	st 15	16.60	7.12	23.72	23.69	-10.00	-236.90
17	st 16	16.60	7.19	23.79	23.76	-9.00	-213.80
18	st 17	16.60	7.25	23.85	23.82	-8.00	-190.56
19	st 18	16.60	7.31	23.91	23.88	-7.00	-167.16
20	st 19	16.60	7.37	23.97	23.94	-6.00	-143.64
21	st 20	16.60	7.43	24.03	24.00	-5.00	-120.00
22	st 21	16.60	7.50	24.10	24.07	-4.00	-96.26
23	st 22	16.60	7.56	24.16	24.13	-3.00	-72.39
24	st 23	16.60	7.62	24.22	24.19	-2.00	-48.38
25	st 24	16.60	7.68	24.28	24.25	-1.00	-24.25
26	st 25	16.60	7.75	24.35	24.32	0.00	0.00
27	st 26	16.60	7.81	24.41	24.38	1.00	24.38
28	st 27	16.60	7.87	24.47	24.44	2.00	48.88
29	st 28	16.60	7.93	24.53	24.50	3.00	73.50
30	st 29	16.60	7.99	24.59	24.56	4.00	98.24
31	st 30	16.60	8.06	24.66	24.63	5.00	123.13
32	st 31	16.60	8.12	24.72	24.69	6.00	148.14
33	st 32	16.60	8.18	24.78	24.75	7.00	173.25
34	st 33	16.60	8.24	24.84	24.81	8.00	198.48
35	st 34	16.60	8.31	24.91	24.88	9.00	223.88
36	st 35	16.60	8.37	24.97	24.94	10.00	249.40
37	st 36	16.60	8.43	25.03	25.00	11.00	275.00

Lanjutan Tabel 4.2

38	st 37	16.60	8.49	25.09	25.06	12.00	300.72
39	st 38	16.60	8.55	25.15	25.12	13.00	326.56
40	st 39	16.60	8.62	25.22	25.19	14.00	352.59
41	st 40	16.60	8.68	25.28	25.25	15.00	378.75
42	st 41	16.61	8.74	25.35	25.32	16.00	405.04
43	st 42	16.6	8.80	25.4	25.38	17.00	431.38
44	st 43	16.59	8.86	25.45	25.43	18.00	457.65
45	st 44	16.26	8.93	25.19	25.32	19.00	481.08
46	st 45	15.83	8.99	24.82	25.01	20.00	500.10
47	st 46	15.19	9.05	24.24	24.53	21.00	515.13
48	st 47	13.76	9.11	22.87	23.56	22.00	518.21
49	st 48	10.8	9.18	19.98	21.43	23.00	492.78
50	st 49	5.72	9.24	14.96	17.47	24.00	419.28
51	st 50	0.15	9.30	9.45	12.21	25.00	305.13
Jumlah [ton/m]				1167.96	Jumlah [ton/m]	939.36	
Berat [ton]				2135.96	Titik Berat dari Mid [m]	1.24	

Dari perhitungan pada Tabel 4.2 diperoleh *hull weight* kapal Tongkang 300 ft adalah 2136 ton.

4.3 Perhitungan Jumlah Airbag

4.3.1 Two Row Arrangement

Jumlah *airbag* pneumatik untuk peluncuran kapal *layout two row arrangement* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.1 dimana,

KI = konstanta 1.2 - 1.3	1.2	
Wc = <i>Launching weight of ship and launching device</i>	2136	ton
g = gravitasi bumi 9.81 m/s ²	9.81	m/s ²
CB = <i>Block coefficient</i>	0.922	
R = <i>Airbag Load capacity per unit length</i>	143.03	kN/m
Ld = <i>Airbag Effective length</i>	10	m
N_l = Tambahan jumlah <i>airbag</i> yang dibutuhkan	9	pcs

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

4.3.2 Cross Over Arrangement

Jumlah *airbag* pneumatik untuk peluncuran kapal *layout cross over arrangement* dapat diperoleh dengan cara yang sama seperti 4.3.1 dimana,

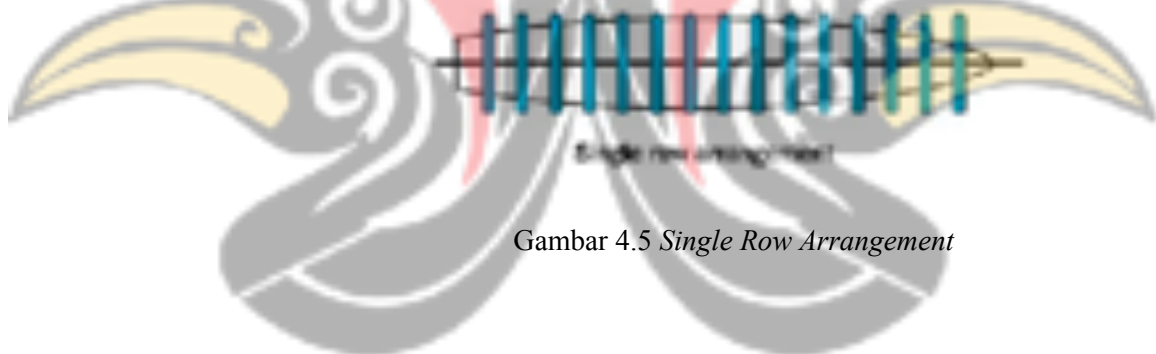
KI = konstanta 1.2 - 1.3	1.2	
Wc = Launching weight of ship and launching device	2136	ton
g = grafitasi bumi 9.81 m/s ²	9.81	m/s ²
CB = Block coefficient	0.922	
R = Airbag Load capacity per unit length	143.03	kN/m
Ld = Airbag Effective length	18	m
N_l = Tambahan jumlah airbag yang dibutuhkan	3	pcs

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

4.4 Permodelan *Layout Airbag*

4.4.1 *Single Row Arrangement*

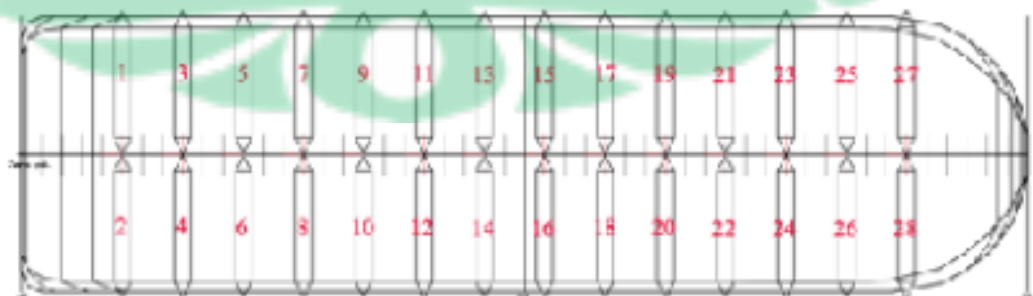
Layout seperti pada Gambar 4.5 di bawah ini tidak dapat digunakan karena lebar kapal > 18 m. Panjang efektif *airbag* yang tersedia menurut ISO 14409, adalah 6 - 18 meter.



Gambar 4.5 *Single Row Arrangement*

4.4.2 *Two Row Arrangement*

Penyusunan *airbag* dilakukan sesuai dengan Gambar 4.6 yang diasumsikan diletakan sesuai dengan panjang lunas kapal dan tepat pada setiap *frame* Tongkang 300 ft.



Gambar 4.6 *Two Row Arrangement*

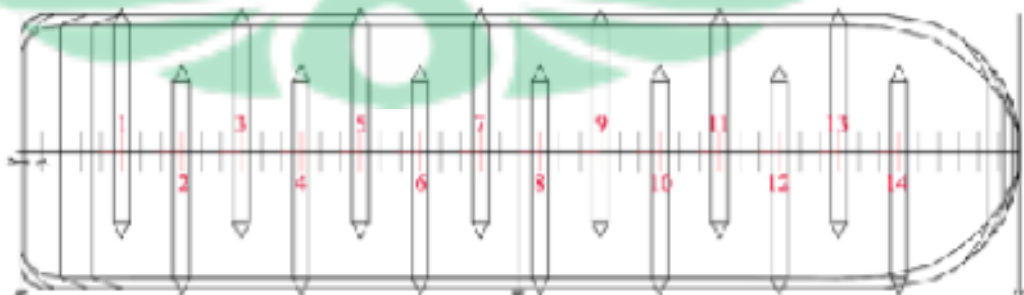
Jika diketahui batas jarak peletakan *airbag* berada diantara $2.85 \text{ m} \leq \text{Jarak antar } airbag \leq 6 \text{ m}$ dan panjang lunas kapal dari station 5 sampai dengan station 45 adalah 74 m maka *airbag* dapat diletakan pada setiap 3 jarak *frame* dengan jarak setiap *airbag* 5.49 m oleh sebab itu pada *layout* ini memerlukan tambahan 9 *airbag*. Sehingga didapatkan layout seperti pada Tabel 4.3 berikut

Tabel 4.3 Layout Peletakan *Airbag Two Row Arrangement*

No Station	No <i>Airbag</i>	
	<i>Port Side</i>	<i>Starboard</i>
5	1	2
8	3	4
11	5	6
14	7	8
17	9	10
20	11	12
23	13	14
26	15	16
29	17	18
32	19	20
35	21	22
38	23	24
41	25	26
44	27	28

4.4.3 *Cross Over Arrangement*

Penyusunan *airbag* dilakukan sesuai dengan Gambar 4.7 yang diasumsikan diletakan sesuai dengan panjang lunas kapal Tongkang 300 ft.



Gambar 4.7 *Cross Over Arrangement*

Jika diketahui batas jarak peletakan *airbag* berada diantara $2.85 \text{ m} \leq \text{Jarak antar } airbag \leq 6 \text{ m}$ dan panjang lunas kapal dari station 5 sampai dengan station 45 adalah 74 m maka *airbag* dapat diletakan pada setiap 3 jarak frame dengan jarak setiap *airbag* 5.49 m oleh sebab itu pada *layout* ini memerlukan tambahan 3 *airbag*. Sehingga didapatkan layout seperti pada Tabel 4.4 berikut

Tabel 4.4 Layout Peletakan *Airbag Cross Over Arrangement*

No Station	No Airbag
5	1
8	2
11	3
14	4
17	5
20	6
23	7
26	8
29	9
32	10
35	11
38	12
41	13
44	14

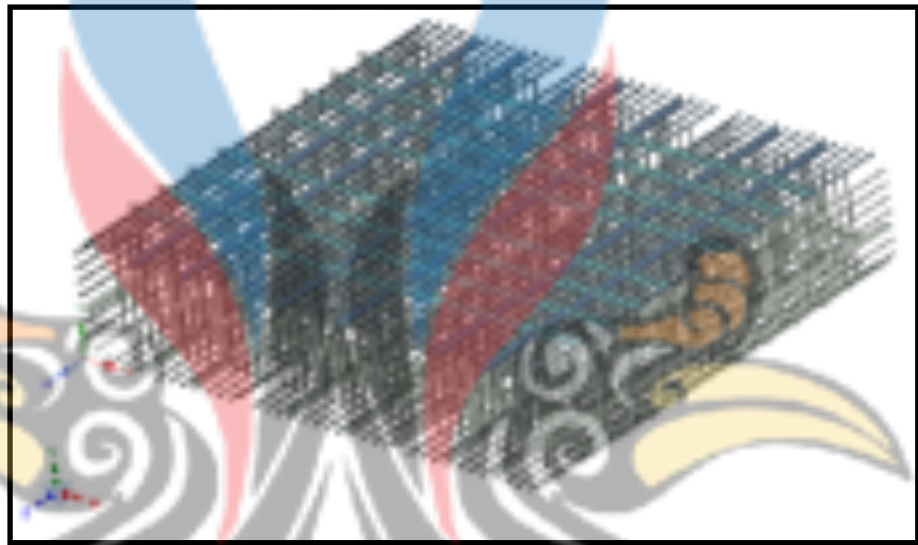
4.5 Permodelan Struktur Kapal

Permodelan struktur konsturksi 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*.

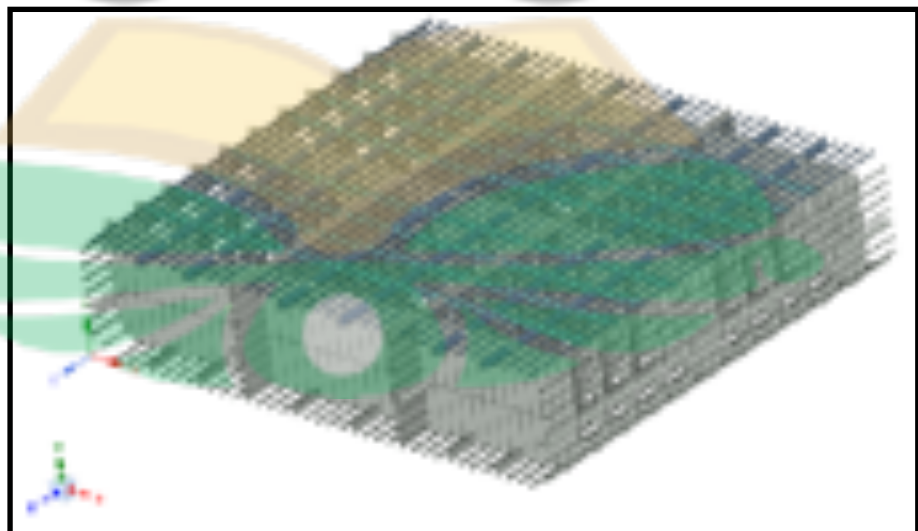
Adapun bentuk dan susunan konsturksi kapal yang dianalisa sebagai berikut,

- 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

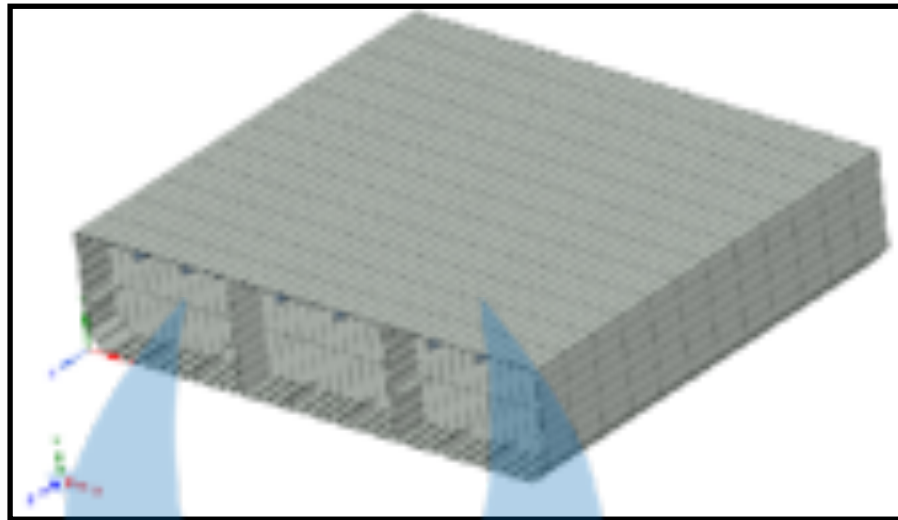
- Pelat sekat melintang dan memanjang dengan tebal 8 mm
 - Profil L sebagai pilar dengan ukuran 360 x 100 x 8 mm
 - Profil L dengan ukuran
 - 500 x 100 x 8 mm
 - 125 x 75 x 8 mm
- c. Dalam permodelan, Z menunjukkan panjang kapal, arah sumbu X menunjukkan lebar kapal dan arah sumbu Y menunjukkan tinggi kapal
- Maka diperoleh permodelan konstruksi kapal seperti pada Gambar 4.8.1, 4.8.2 dan 4.8.3



Gambar 4.8.1 Permodelan Konsturksi



Gambar 4.8.2 Permodelan Konsturksi dengan Sekat



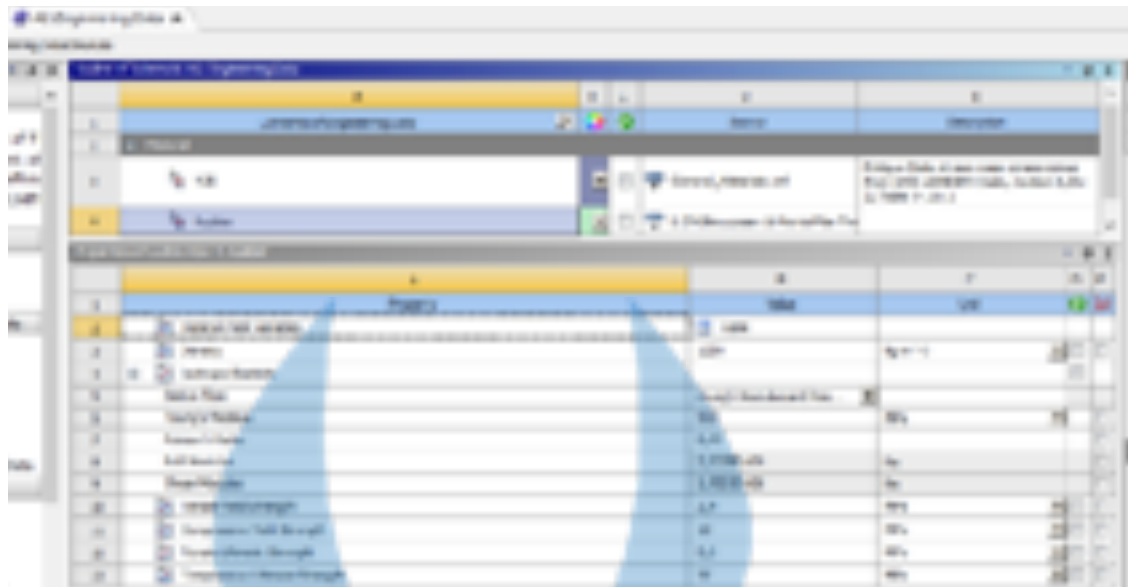
Gambar 4.8.3 Permodelan Konstruksi dengan Sekat dan Kulit *Hull*

4.6 Engginering Data

Engginering data berisikan data material yang akan digunakan pada model. Pada penelitian ini digunakan 2 jenis material yaitu baja A36 untuk konsturksi dan Rubber untuk *airbag*. Berikut adalah Gambar 4.9.1 dan 4.9.2 merupakan data properties material yang dimasukkan pada *engginering data*,



Gambar 4.9.1 Material Properties Baja A36



Gambar 4.9.2 Material Properties Rubber

4.7 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 4.10.1 dan 4.10.2.

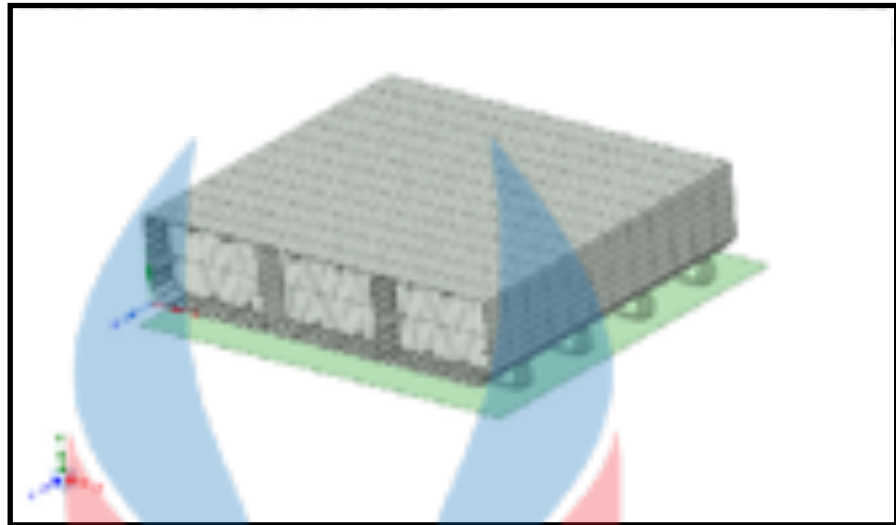


Gambar 4.10.1 Permodelan *Layout Two Row Arrangement*



Gambar 4.10.2 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 4.11.1 Permodelan *Layout Two Row Arrangement* dengan konstruksi



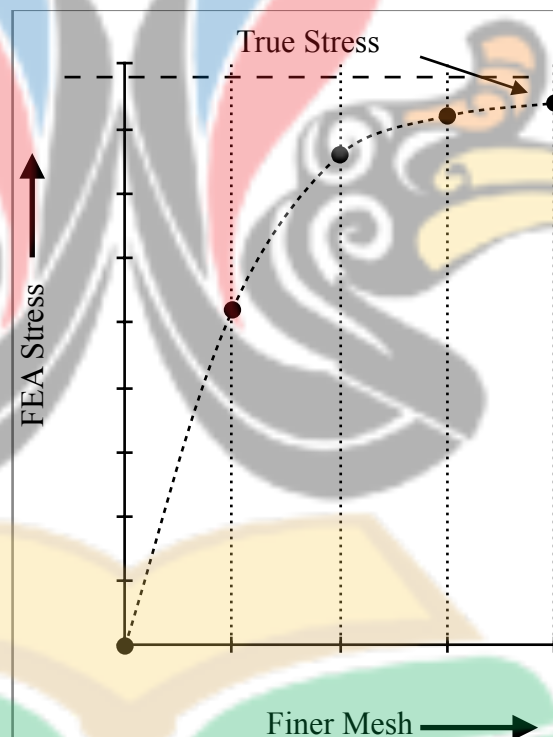
Gambar 4.11.2 Permodelan *Layout Cross Over Arrangement* dengan konstruksi

4.8 Konvergensi dan *Meshing*

4.8.1 Konvergensi

Pada permodel Konvergensi diartikan sebagai penentuan jumlah iterasi dan batas *Root Mean Square (RMS)* sebelum kita melakukan perhitungan dilakukan. Langkah ini dilakukan pada tahap *solver* yang merupakan tahap penentuan berbagai kondisi batas yang harus diterapkan sebelum proses simulasi dilakukan.

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. Jika tabulasi solusi dari proses iterasi tersebut ditunjukkan dalam sebuah grafik, maka akan tampak seperti Gambar 4.12.1 di bawah

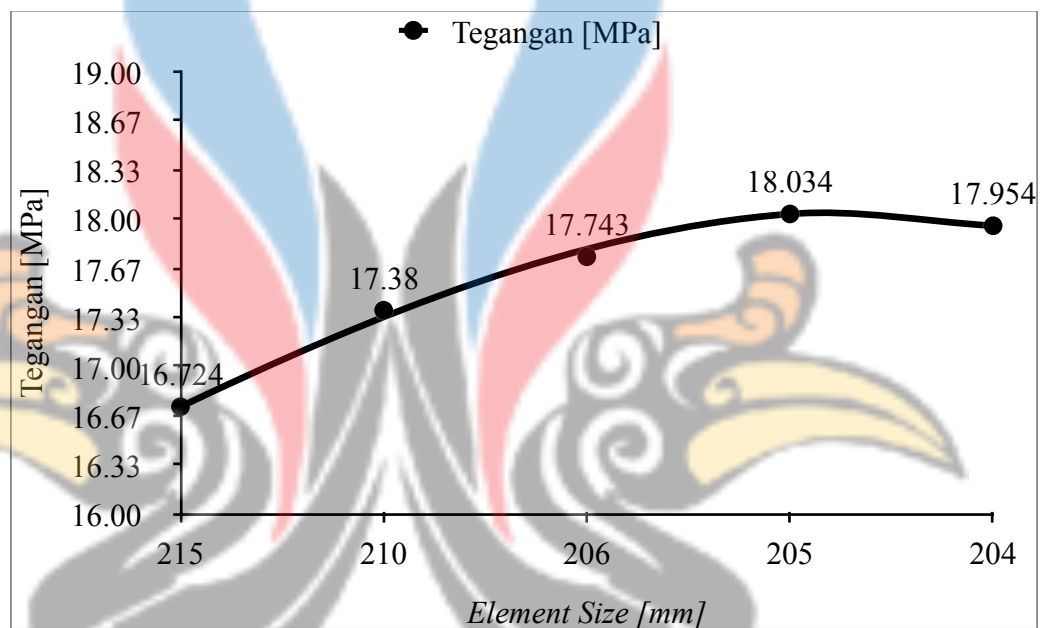


Gambar 4.12.1 Grafik Tabulasi
Mesh Terhadap Tegangan

Berikut Tabel 4.5 merupakan hasil konvergensi *mashing elements* dari *layout cross over* model 1 terhadap perhitungan tegangan dan Gambar 4.12.2 merupakan grafik hasil konvergensinya.

Tabel 4.5 Hasil Tabulasi *Mesh* Terhadap Tegangan pada *Layout Cross Over Model 1*

Mash [mm]	Nodes	Elements	Tegangan [Mpa]
225	755392	2147663	15.607
220	775399	2185486	14.968
215	797794	2271102	16.724
210	824737	2339316	17.380
206	840109	2377402	17.743
205	846998	2390950	18.034
204	854457	2406345	17.954
200	834880	2326417	16.101
195	859707	2372984	15.387
190	881665	2445192	16.902

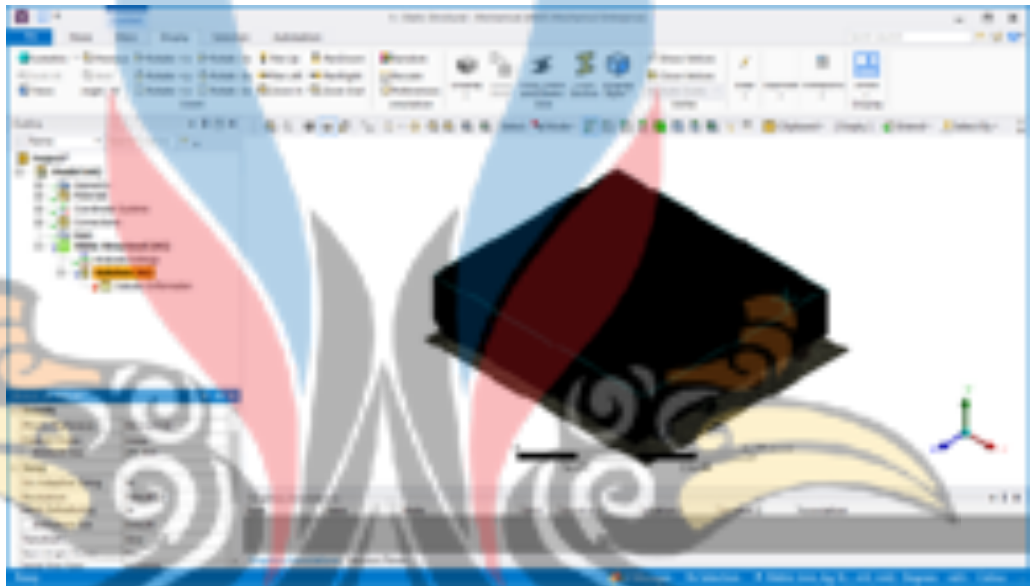
Gambar 4.12.2 Grafik Hasil Konvergensi *Mesh* Terhadap Tegangan pada *Layout Cross Over Model 1*

4.8.2 Meshing

Dari hasil konvergensi di atas, maka *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.

Proses *meshing* merupakan pengaturan jarak antara elemen yang harus dilakukan pada penggunaan *software* berbasis elemen hingga untuk melalui tahap *pre-processing* sebelum melakukan analisis. Langkah-langkah *meshing* adalah sebagai berikut, Klik *Mesh* pada *Outline* kemudian pada *Detail of*

“Mesh” di pojok kiri bawah, pada tabel *Defaults*, *Element Order* diganti menjadi linier dan *Elemen Size* yang digunakan sebesar 200 mm. Pada tabel *Sizing*, *Transition* diganti menjadi *slow* dan *Span Angle Center* diganti menjadi *Fine* dengan tujuan memuluskan permukaan geometri yang melengkung. Langkah selanjutnya, Klik *Mesh* pada *toolbar* > Klik *Generate Mesh*, tunggu sampai program selesai melakukan *meshing*. Berikut adalah Gambar 4.13 merupakan contoh hasil *meshing* yang diterapkan pada *Layout Two Row Arrangement* Model 1.

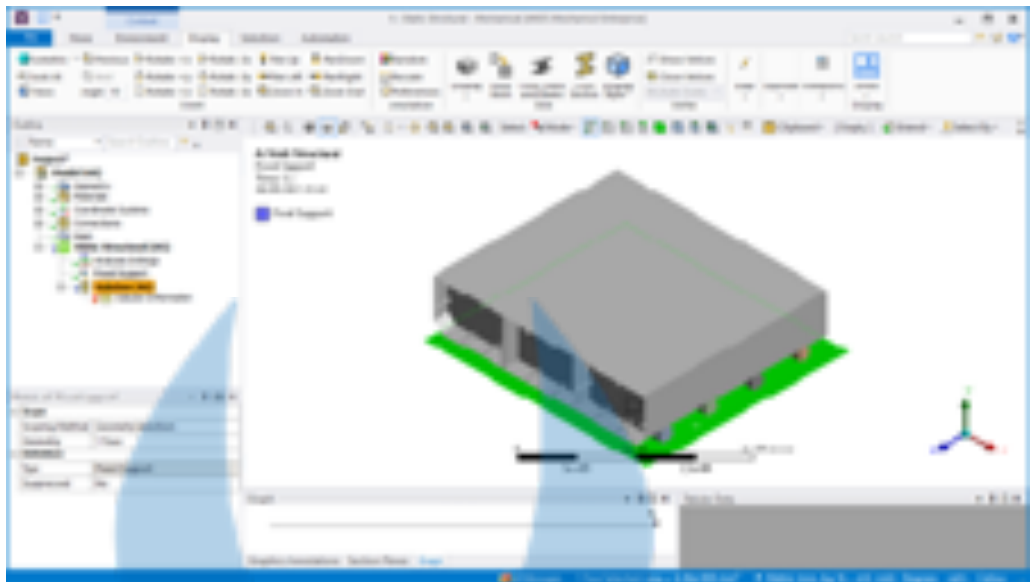


Gambar 4.13 Hasil *Meshing* pada *Layout Two Row Arrangement* Model 1

4.9 Tumpuan dan Pembebanan pada Model

4.9.1 Tumpuan *Fixed Support*

Pada permodelan digunakan tumpuan *fix* yang diberikan kepada *face* landasan peluncuran yang di atasnya diletakan *airbag* dan konstruksi kapal seperti pada Gambar 4.14.1. di bawah. Langkah-langkah memasukan tumpuan *fix* adalah sebagai berikut, Klik *Static Structural* (A5) pada *Outline* > Klik *Environment* pada *tool bar* > Klik *Supports* > pilih *fixed support*. Langkah selanjutnya adalah memilih *face* geometri pada *Detail of “Fixed Support”* di pojok kiri bawah yang akan dijadikan tumpuan *fix* yaitu *face* pada landasan peluncuran (berwarna hijau pada Gambar 4.14.1).



Gambar 4.14.1 Pemasangan Tumpuan *Fixed Support* pada *Static Structural*

4.9.2 *Standar Earth Gravity*

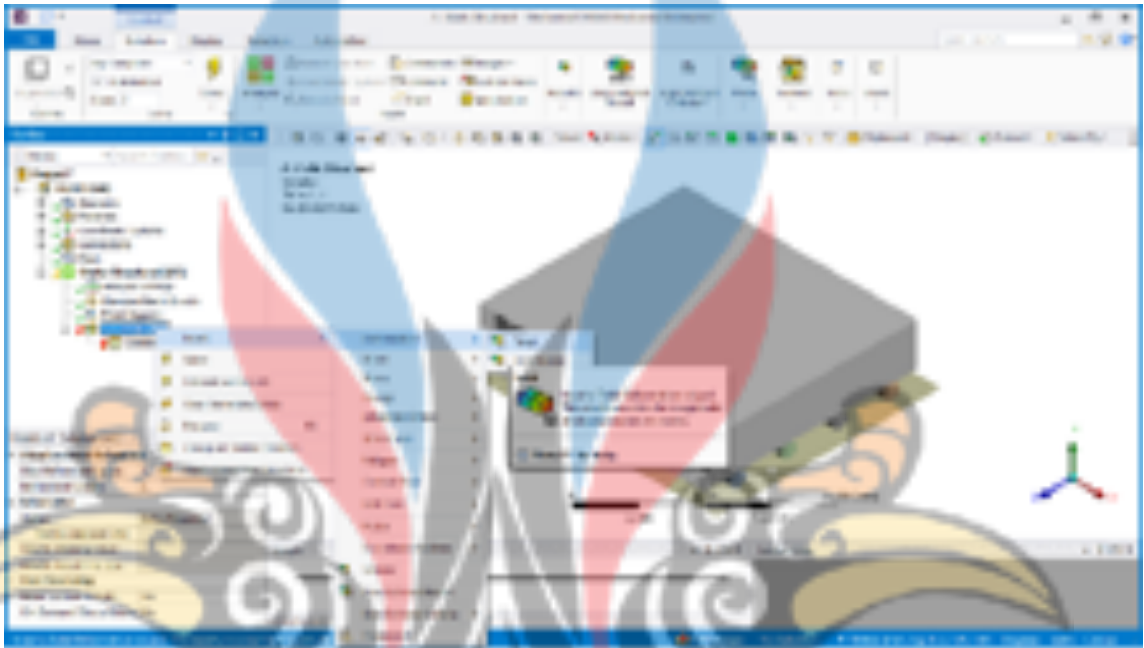
Pembebanan yang diaplikasikan pada model adalah berat konstruksi permodelan terhadap gaya gravitasi sebesar $9806,6 \text{ mm/s}^2$. Berat konstruksi yang telah dihitung secara otomatis pada *software* pada model sebesar 245,8 ton. Langkah-langkah memasukkan pembebanan gaya gravitasi adalah sebagai berikut, Klik *Static Structural* (A5) pada *Outline* > Klik *Environment* pada *tool bar* > Klik *Inertial* > Pilih *Standar Earth Gravity* seperti pada Gambar 4.14.2 Kemudian pada table *definition* di pojok kiri bawah, sesuaikan arah (*direction*) gaya gravitasi dengan sumbu -Y.



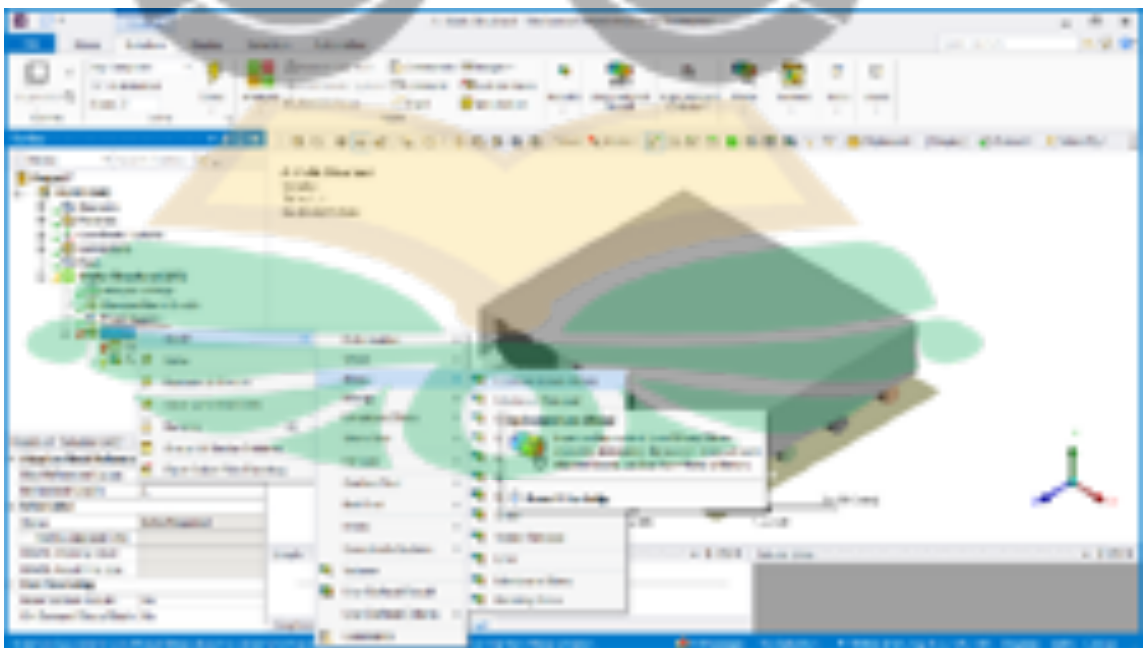
Gambar 4.14.2 Pemilihan *Standar Earth Gravity* pada *Static Structural*

4.10 *Solution*

Solution berfungsi sebagai menu yang akan menampilkan hasil yang dibutuhkan dari permodelan. Pada penelitian ini diperlukan 2 hasil diantaranya yaitu *Total Deformation*, dan *Equivalent Stress*, berikut cara memunculkan *Total Deformation*, dan *Equivalent Stress* pada *Solution* dapat dilihat pada Gambar 4.15.1 dan 4.15.2 berikut:



Gambar 4.15.1 Pemilihan *Total Deformation* pada *Solution*



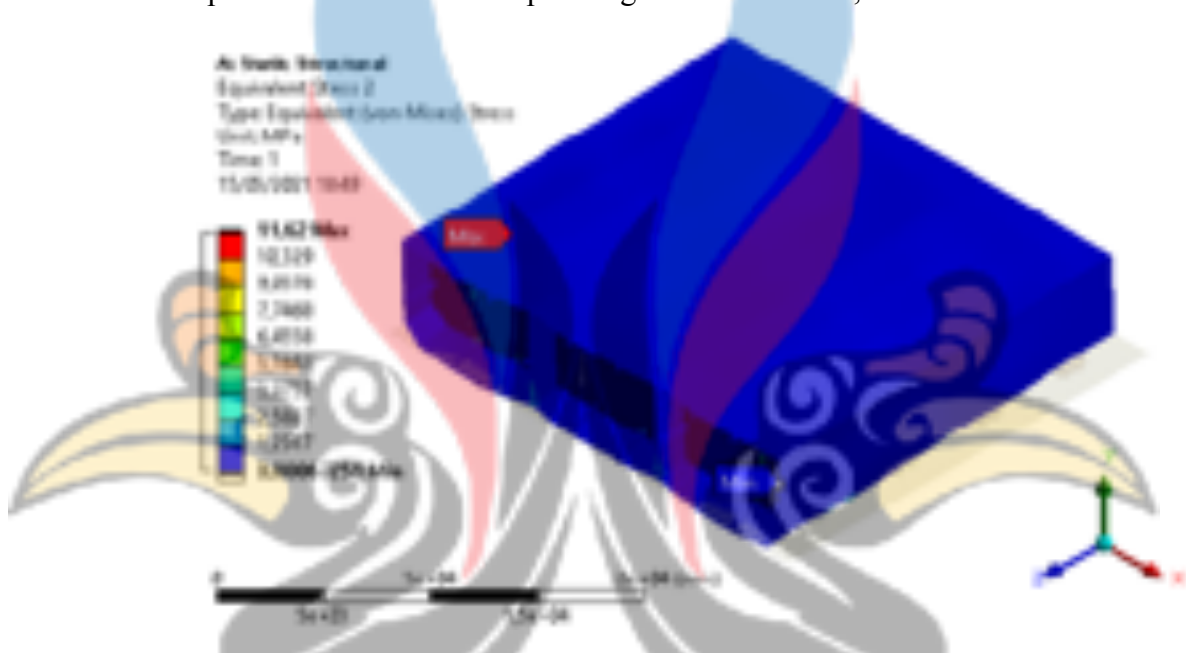
Gambar 4.15.2 Pemilihan *Equivalent Stress (Von-Mises)* pada *Solution*

4.11 Perhitungan Tegangan dan Deformasi pada Variasi *Layout Airbag*

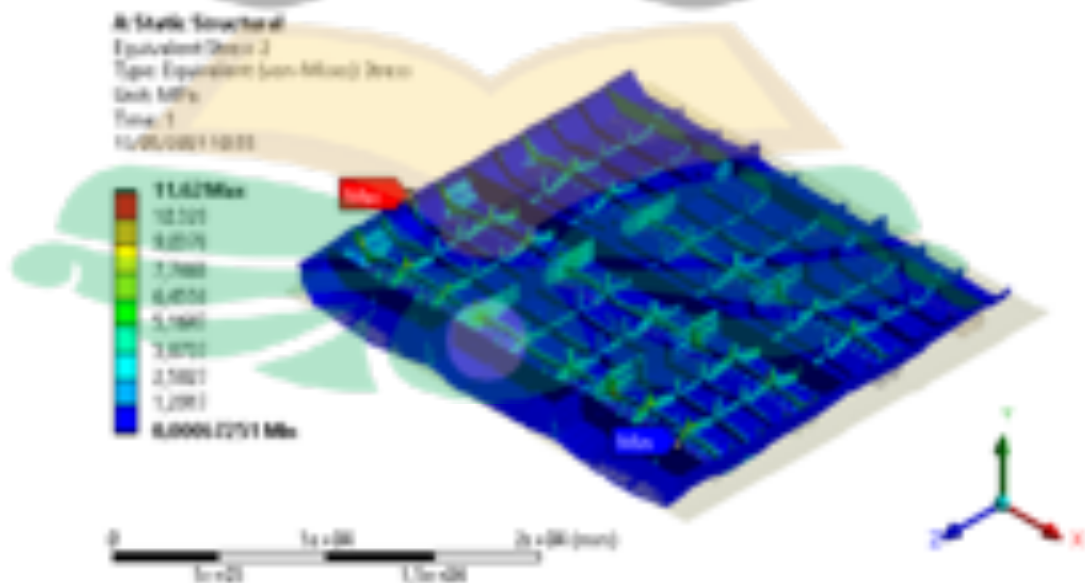
Diketahui model 1 adalah *layout airbag* yang diletakan tepat pada setiap *frame* dan model 2 adalah *layout airbag* yang diletakan diantara *frame* dengan jarak antar *airbag* sama dengan model 1.

4.11.1 *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 4.16.1 sampai dengan 4.16.4 berikut,



Gambar 4.16.1 Hasil Nilai Tegangan Konsturksi Global pada Layout *Two Row Arrangement Model 1*

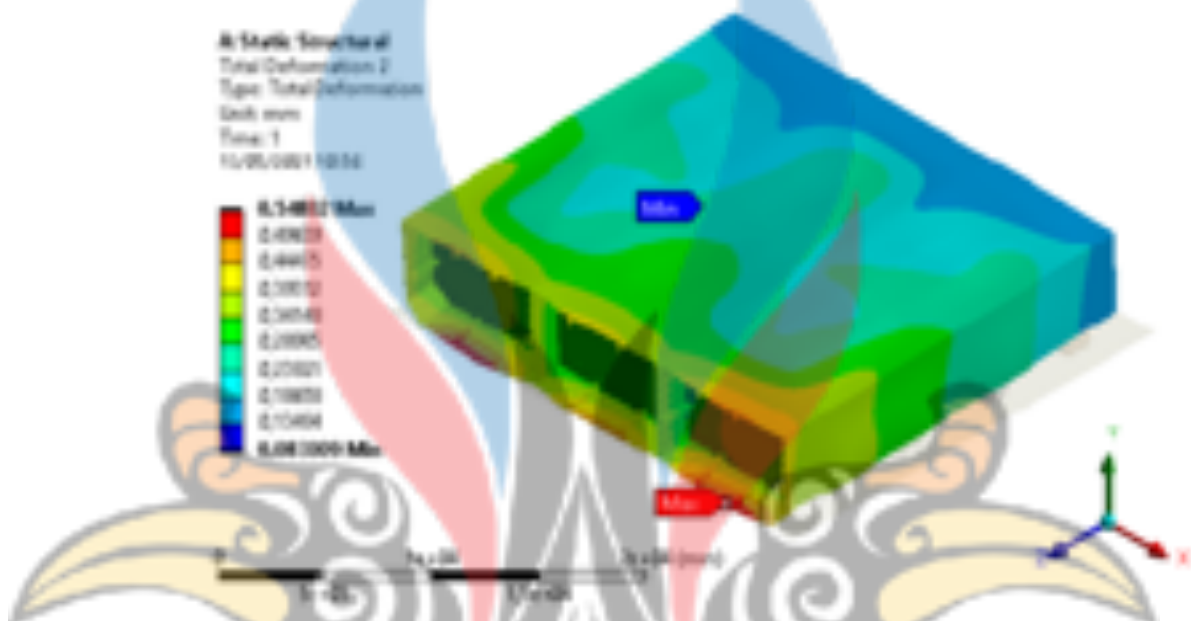


Gambar 4.16.2 Hasil Nilai Tegangan Konsturksi Global pada Layout *Two Row Arrangement Model 1*

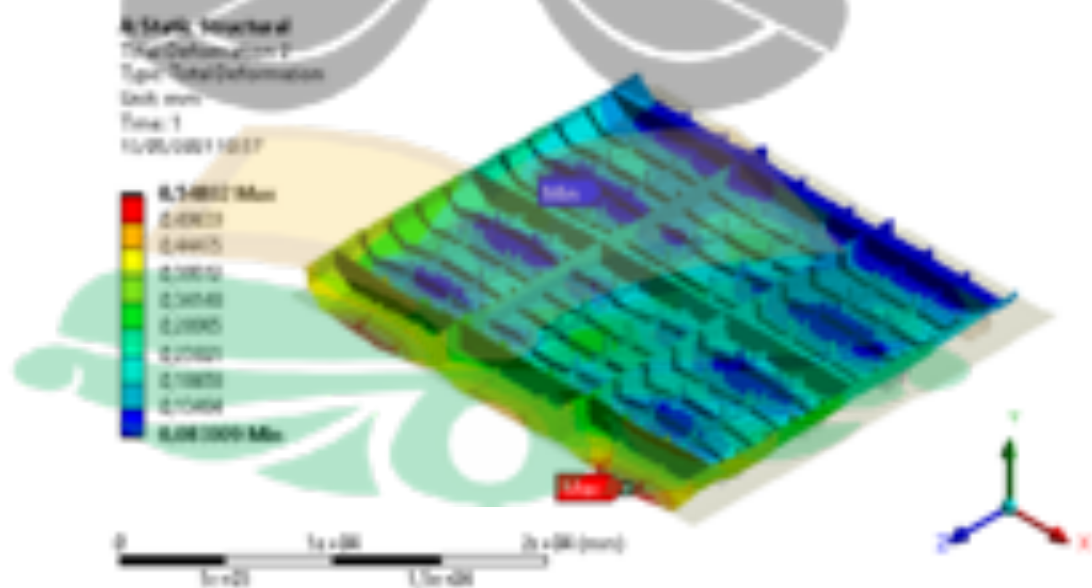
Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 4.6 sebagai berikut

Tabel 4.6 Tabular Data Tegangan *Two Row Arrangement* Model 1

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



Gambar 4.16.3 Hasil Nilai Deformasi Konsturksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 1



Gambar 4.16.4 Hasil Nilai Deformasi Konsturksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 1

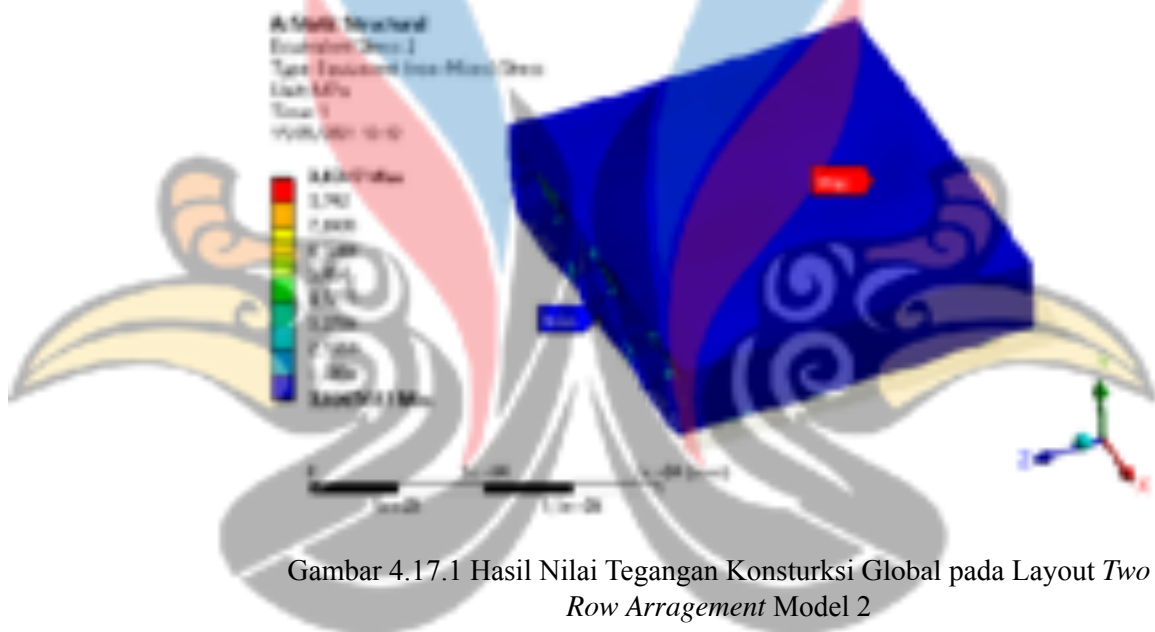
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 4.7 sebagai berikut

Tabel 4.7 Tabular Data Deformasi *Two Row Arrangement* Model 1

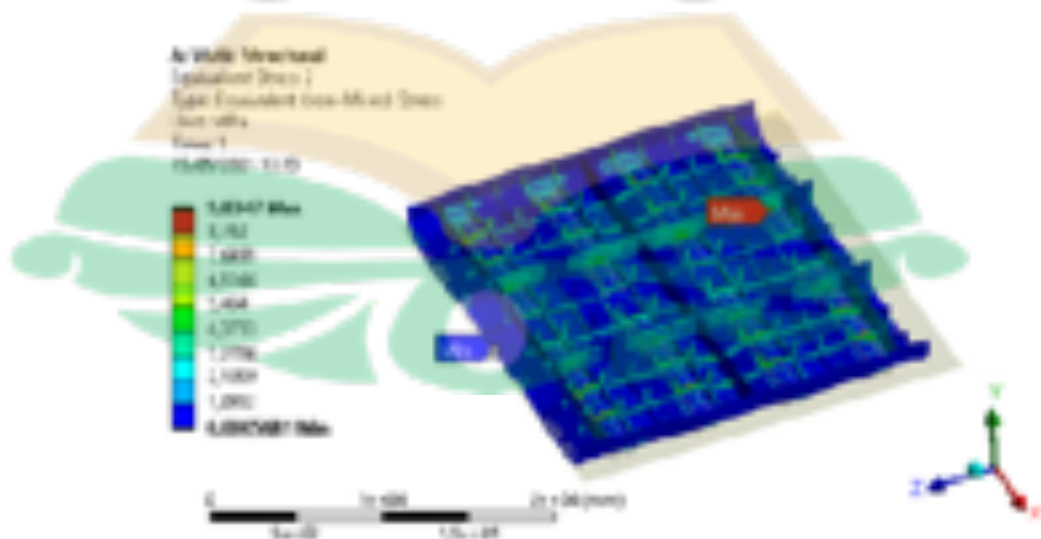
Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
8.3309×10^{-2}	0.54802	0.23775

4.11.2 *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 4.17.1 sampai dengan 4.17.4 berikut,



Gambar 4.17.1 Hasil Nilai Tegangan Konsturksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 2

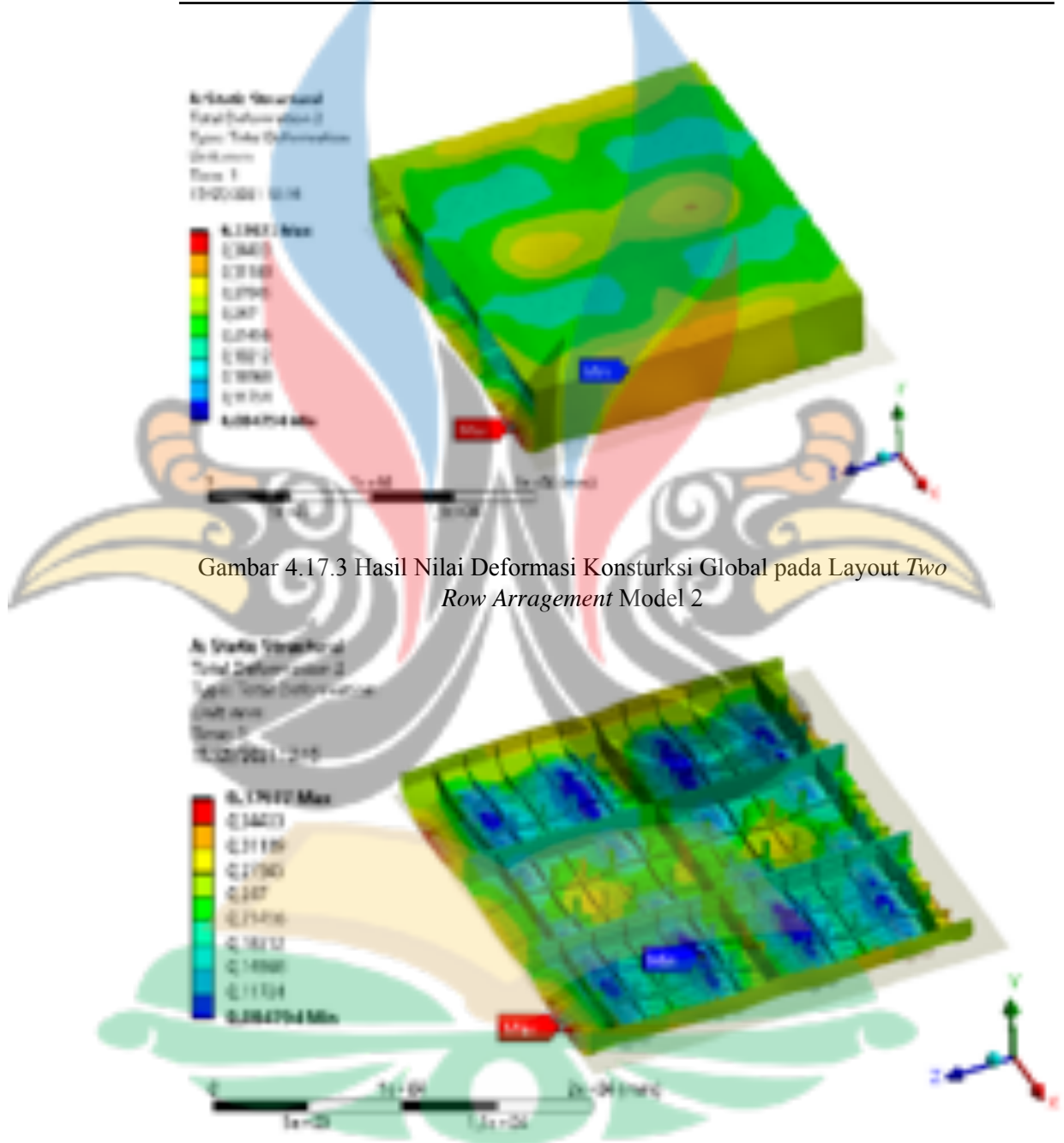


Gambar 4.17.2 Hasil Nilai Tegangan Konsturksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 2

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 4.8 sebagai berikut

Tabel 4.8 Tabular Data Tegangan *Two Row Arrangement* Model 2

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



Gambar 4.17.3 Hasil Nilai Deformasi Konsturksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 2

Gambar 4.17.4 Hasil Nilai Deformasi Konsturksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 2

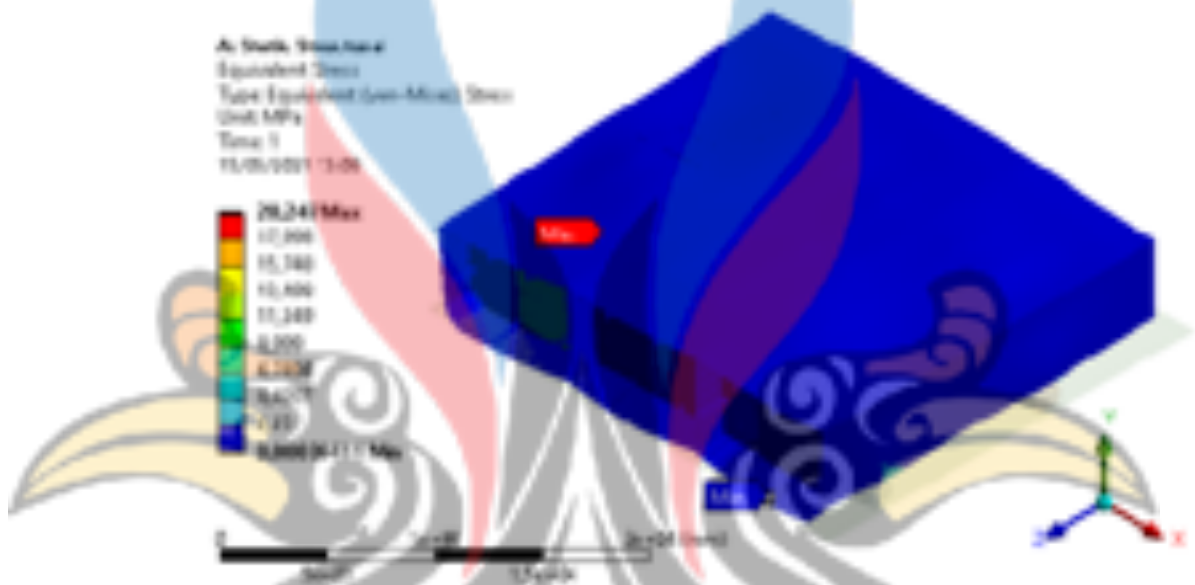
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 4.9 sebagai berikut

Tabel 4.9 Tabular Data Deformasi *Two Row Arrangement* Model 2

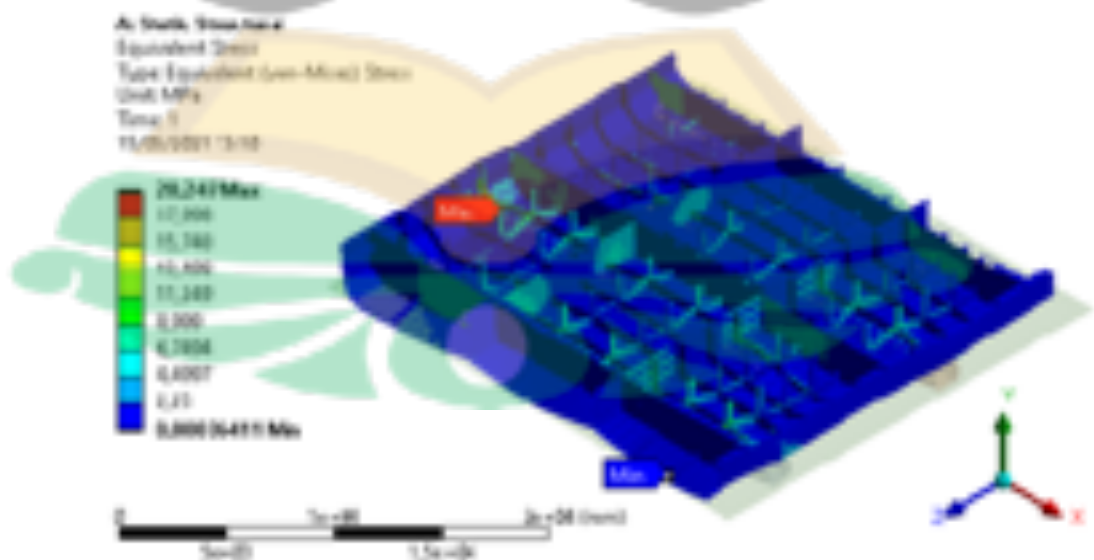
Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
8.4794×10^{-2}	0.37677	0.22592

4.11.3 *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 4.18.1 sampai dengan 4.18.4 berikut,



Gambar 4.18.1 Hasil Nilai Tegangan Konsturksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 1

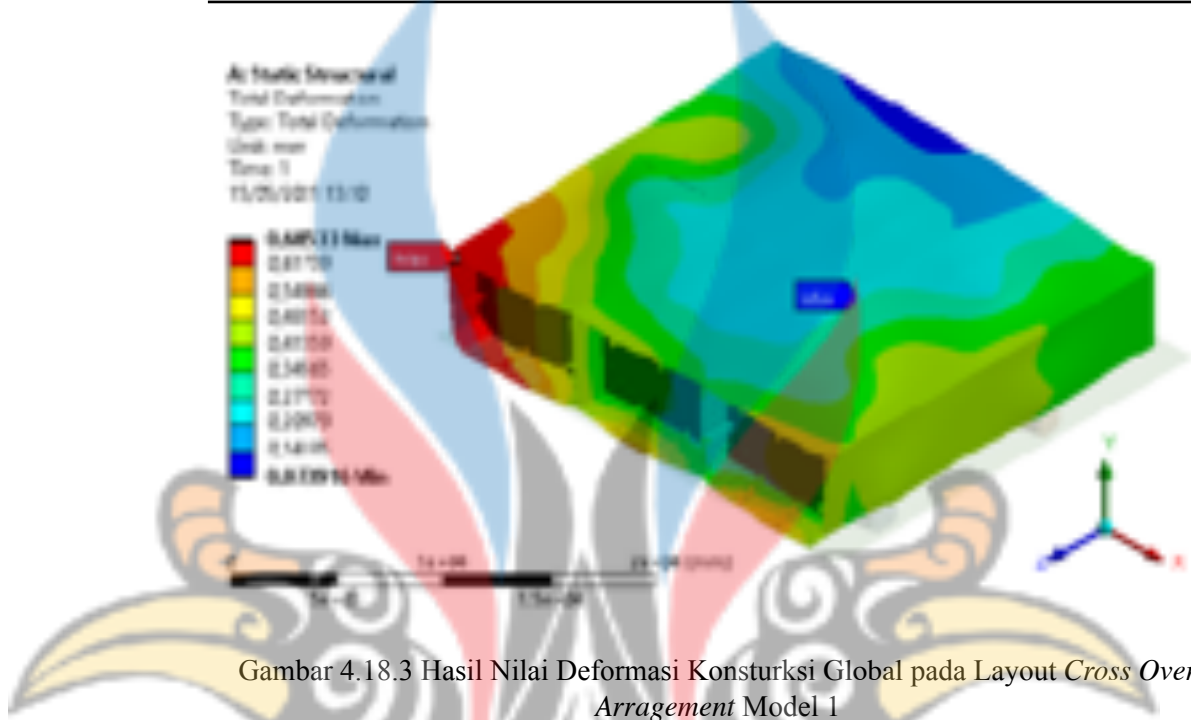


Gambar 4.18.2 Hasil Nilai Tegangan Konsturksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 1

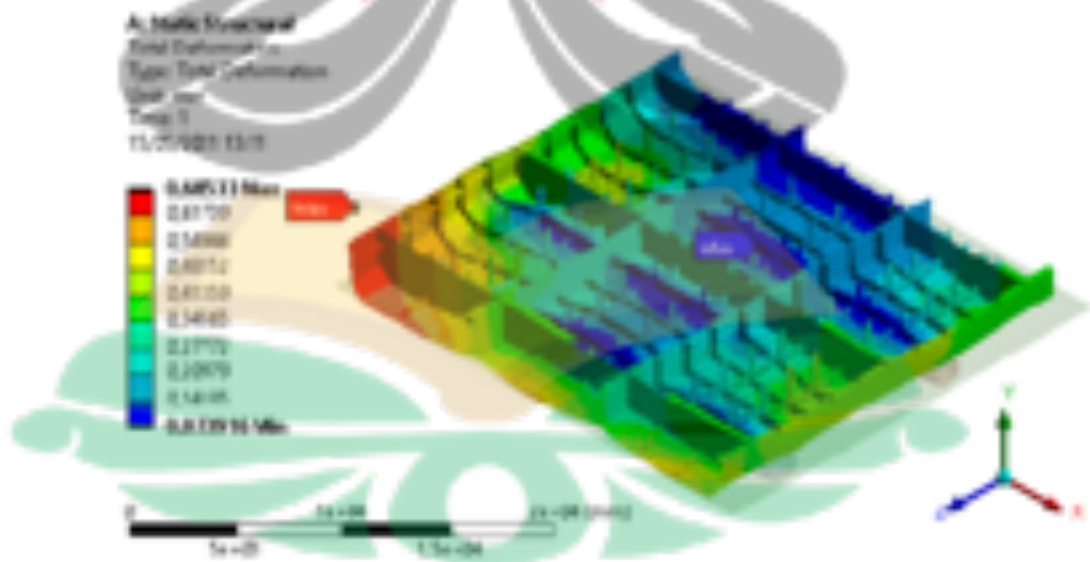
Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 4.10 sebagai berikut

Tabel 4.10 Tabular Data Tegangan *Cross Over Arrangement* Model 1

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



Gambar 4.18.3 Hasil Nilai Deformasi Konsturksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 1



Gambar 4.18.4 Hasil Nilai Deformasi Konsturksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 1

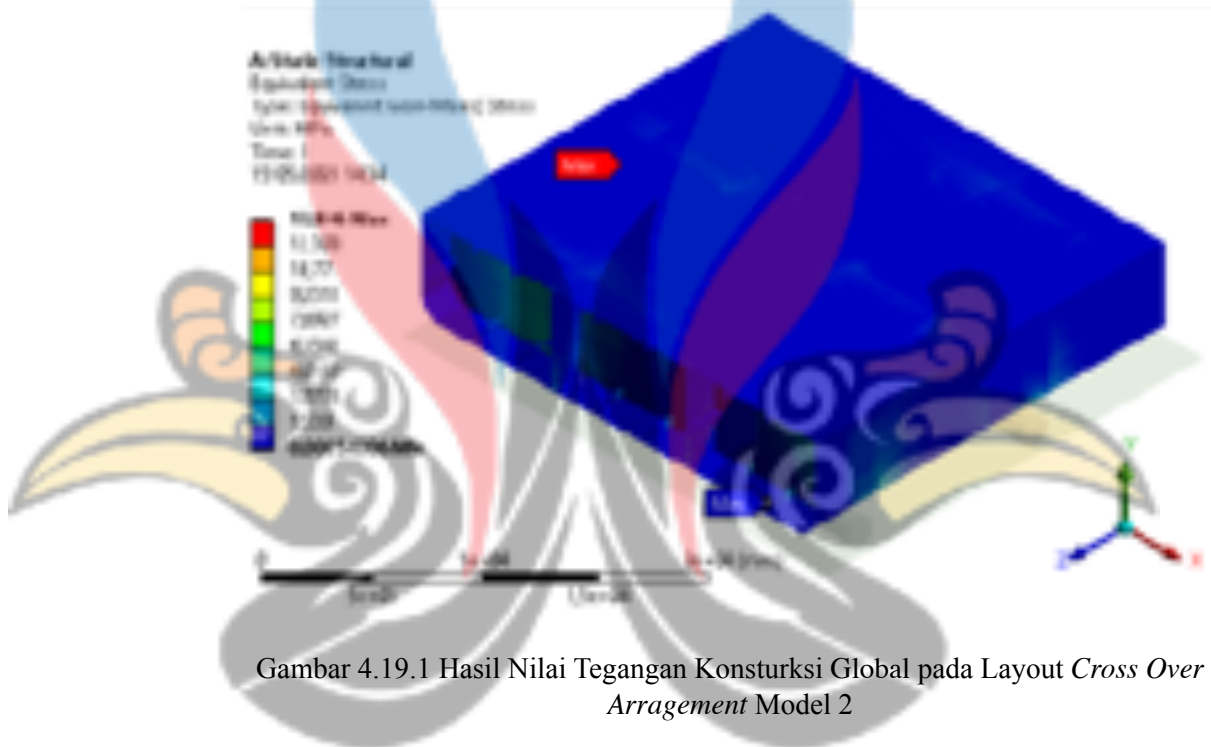
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 4.11 sebagai berikut

Tabel 4.11 Tabular Data Deformasi *Cross Over Arrangement* Model 1

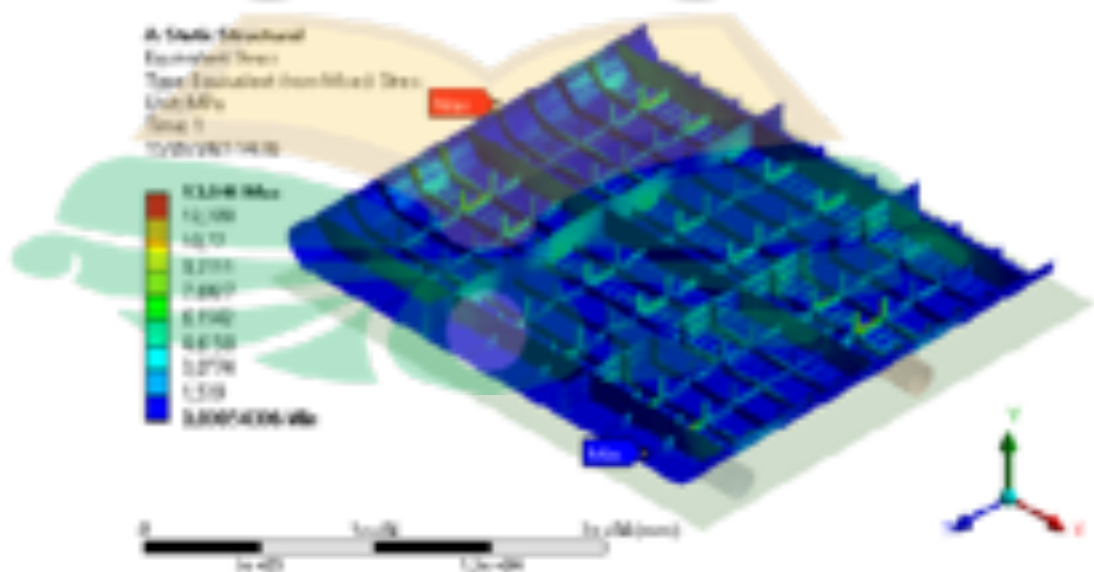
Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
7.3916×10^{-2}	0.68533	0.30223

4.11.4 *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 4.19.1 sampai dengan 4.19.4 berikut,



Gambar 4.19.1 Hasil Nilai Tegangan Konsturksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 2

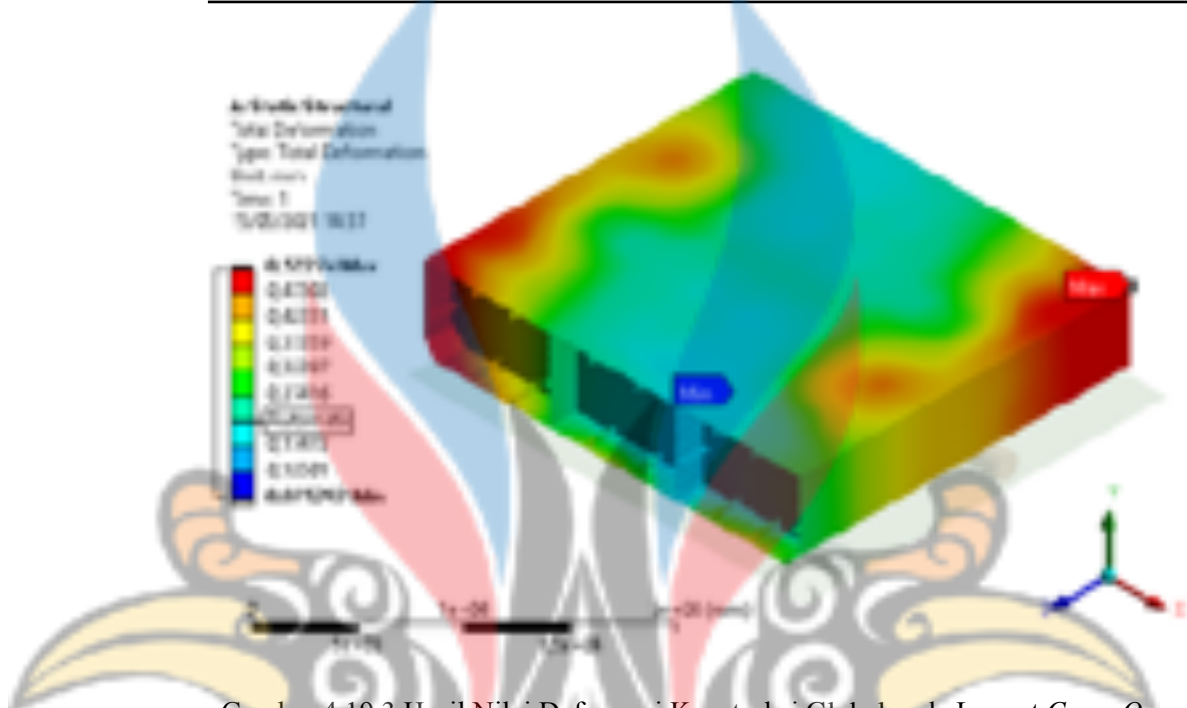


Gambar 4.19.2 Hasil Nilai Tegangan Konsturksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 2

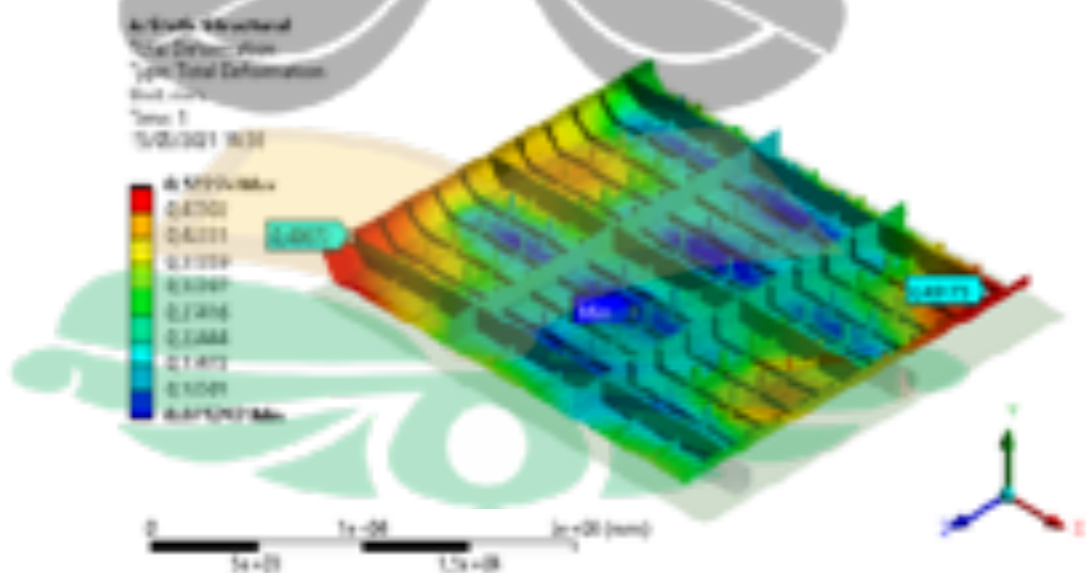
Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Table 4.12 sebagai berikut

Tabel 4.12 Tabular Data Tegangan *Cross Over Arrangement* Model 2

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



Gambar 4.19.3 Hasil Nilai Deformasi Konsturksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 2



Gambar 4.19.4 Hasil Nilai Deformasi Konsturksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 2

Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 4.13 sebagai berikut

Tabel 4.13 Tabular Data Deformasi *Cross Over Arrangement* Model 2

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

4.12 Tegangan dan Deformasi pada Konstruksi *Bottom*

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 4.11.1 dan 4.11.2 maka, titik koordinat X, Y, dan Z ditunjukan pada Tabel 4.13 berikut,

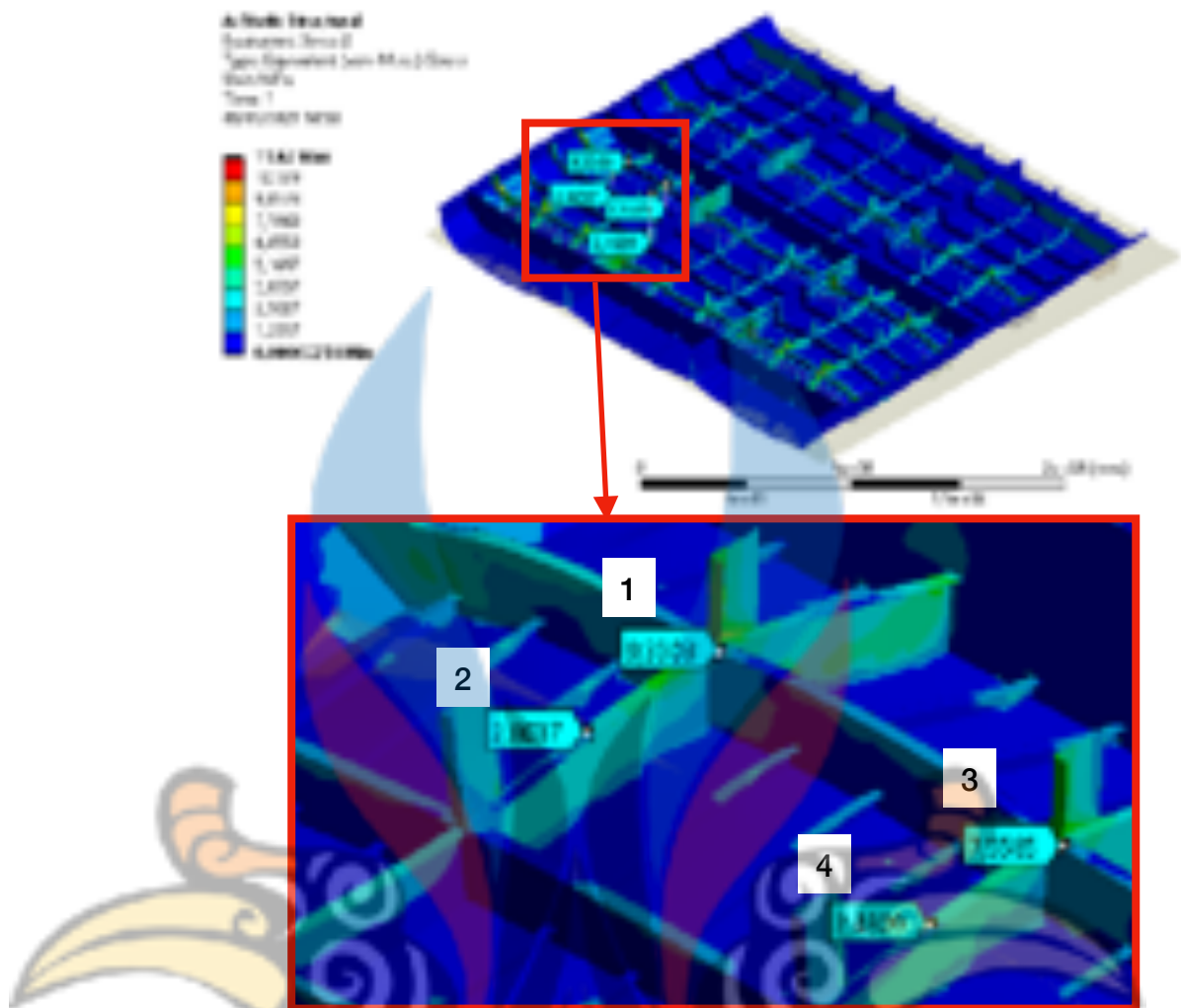
Tabel 4.14 Koordinat Titik Acuan pada Konstruksi *Bottom*

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 4.14 di atas digunakan pada setiap *layout* dan model sehingga didapatkan hasil seperti berikut

4.12.1 *Two Row Arrangement* Model 1

Dengan menggunakan koordinat tersebut pada *layout two row arrangement* model 1, maka didapatkan hasil tegangan dan deformasi seperti Gambar 4.20.1 dan 4.20.2 sebagai berikut

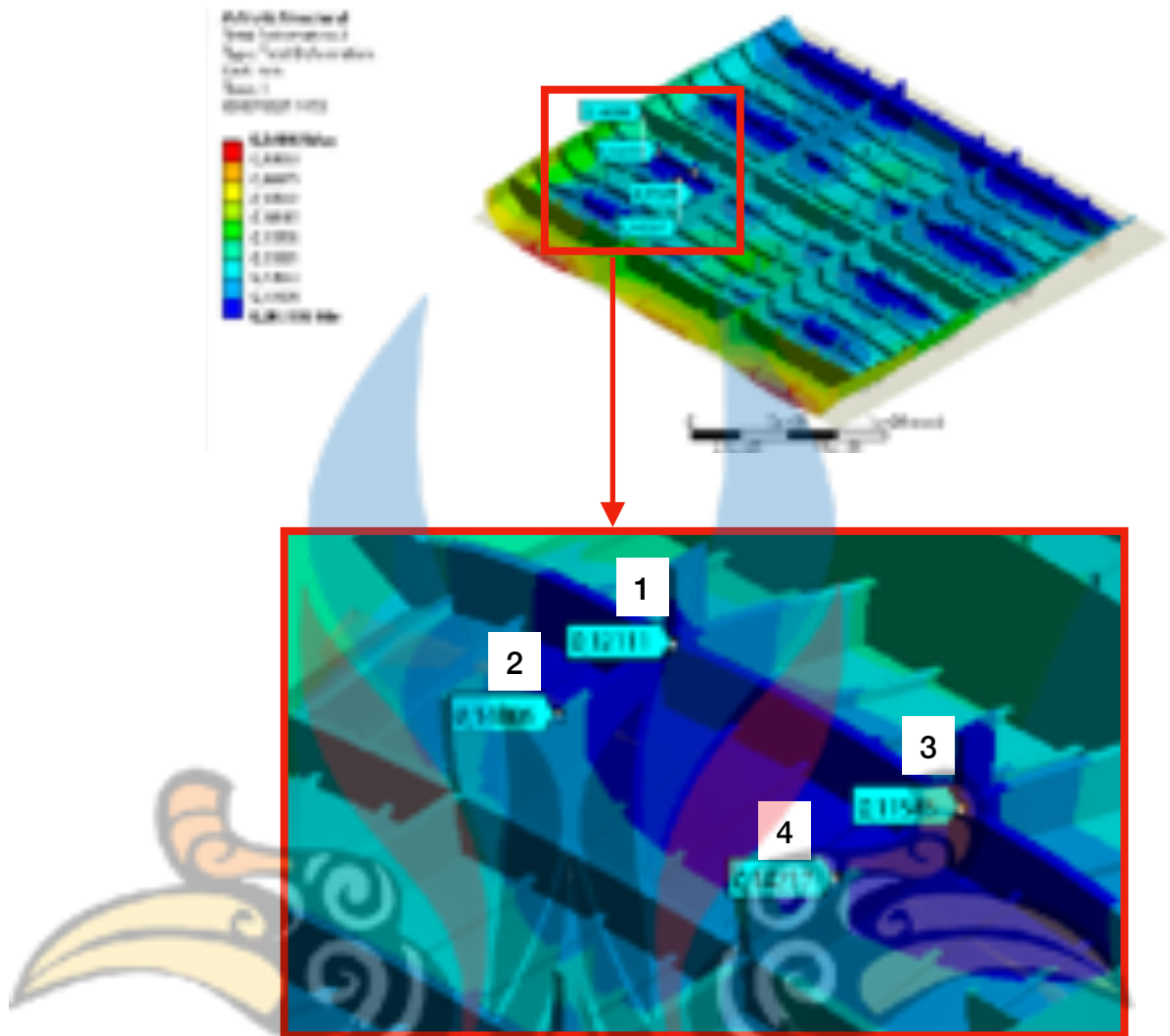


Gambar 4.20.1 Hasil Tegangan pada Koordinat Titik Acuan *Layout Two Row Arrangement Model 1*

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *two row arrangement* model 1 dimuat dalam Table 4.15 sebagai berikut

Tabel 4.15 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 4.20.2 Hasil Deformasi pada Koordinat Titik Acuan *Layout Two Row Arrangement Model 1*

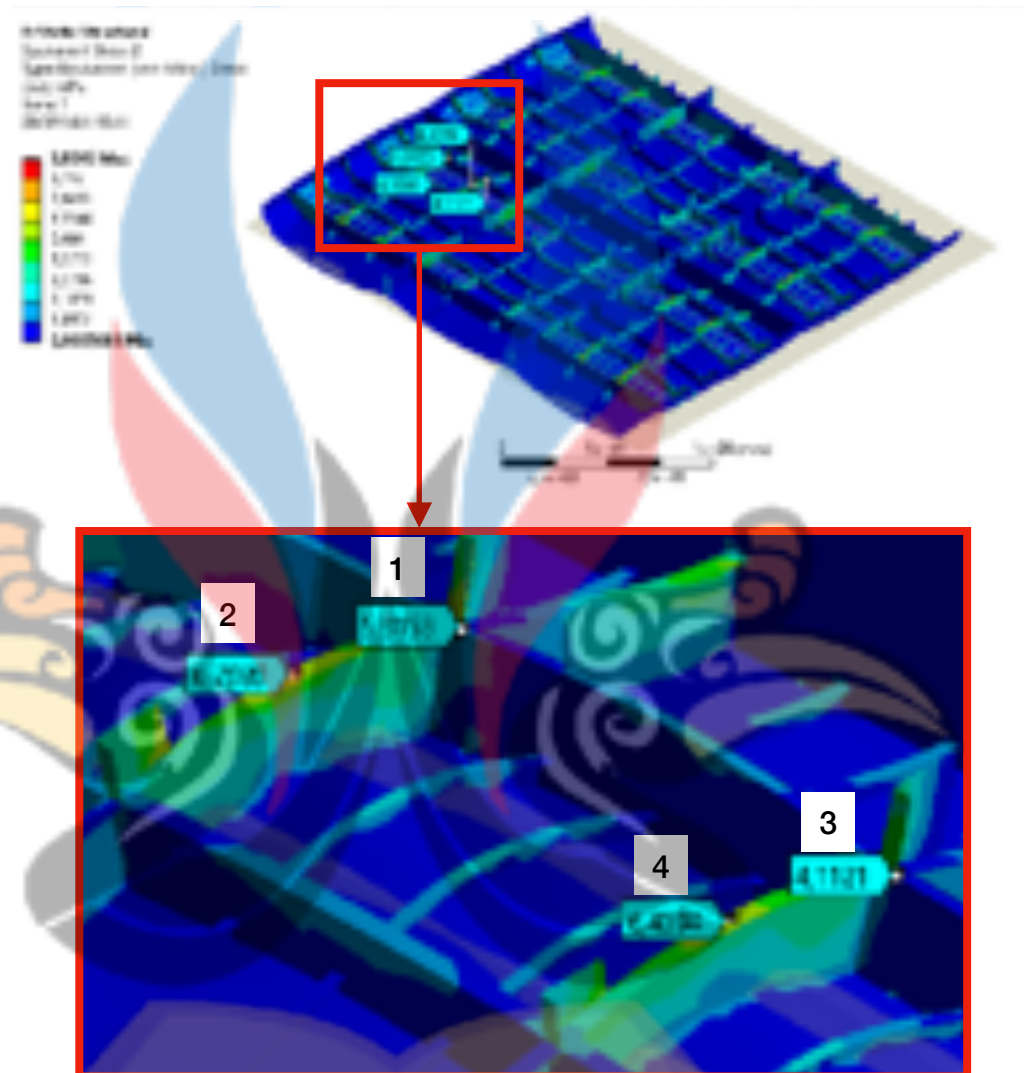
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *two row arrangement* model 1 dimuat dalam Table 4.16 sebagai berikut

Tabel 4.16 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

4.12.2 Two Row Arrangement Model 2

Dengan menggunakan koordinat tersebut pada *layout two row arrangement* model 2, maka didapatkan hasil tegangan dan deformasi seperti Gambar 4.21.1 dam 4.21.1 sebagai berikut



Gambar 4.21.1 Hasil Tegangan pada Koordinat Titik Acuan *Layout Two Row Arrangement* Model 2

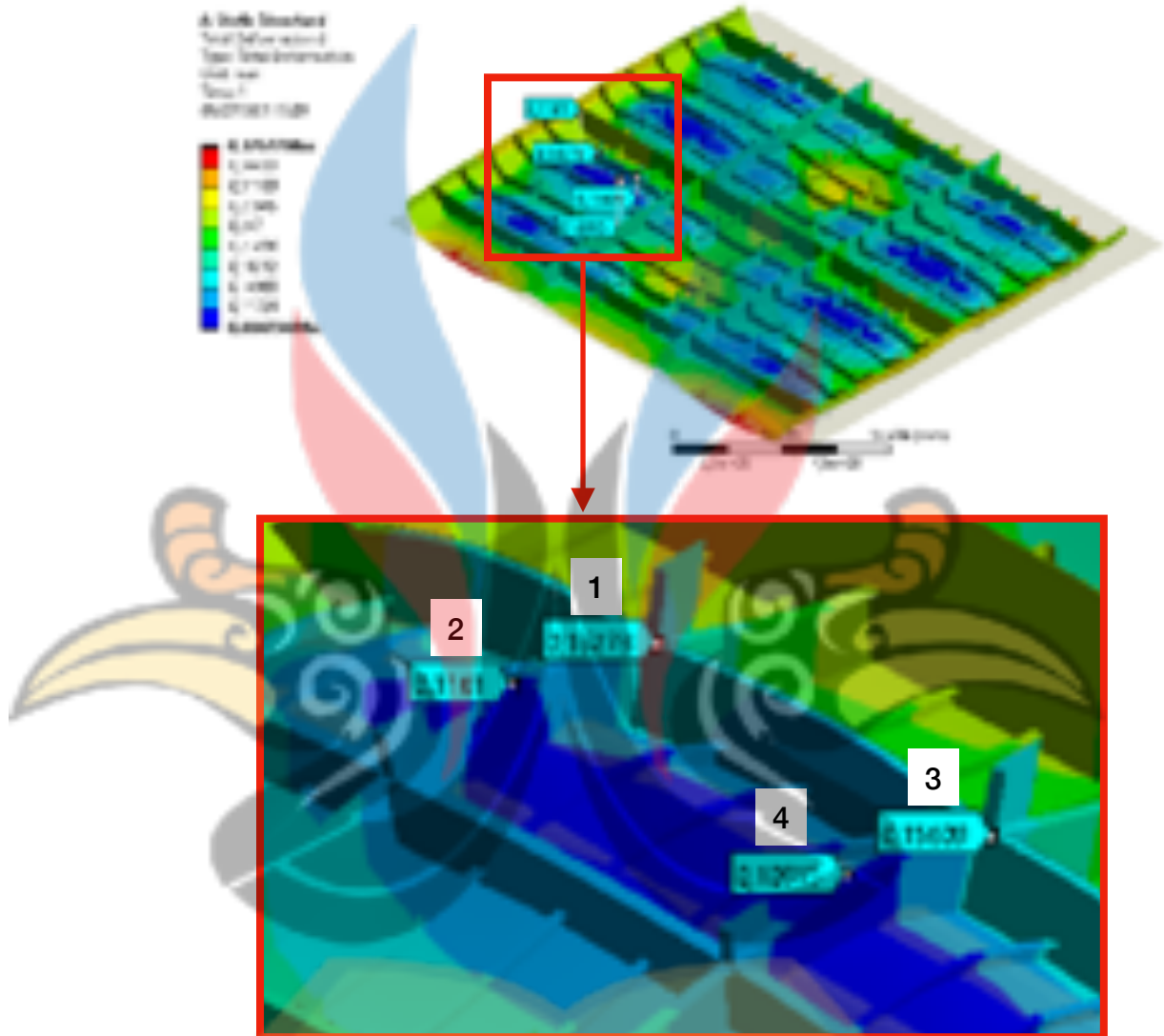
Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *two row arrangement* model 2 dimuat dalam Table 4.17 sebagai berikut

Tabel 4.17 Tabular Data Tegangan pada Titik Acuan *Two Row Arrangement* Model 2

Titik	Tegangan (MPa)
1	5.9153

Lanjutan Tabel 4.17

2	6.7989
3	4.1121
4	6.4394



Gambar 4.21.2 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 4.18 sebagai berikut

Tabel 4.18 Tabular Data Deformasi pada Titik Acuan *Two Row Arrangement Model 2*

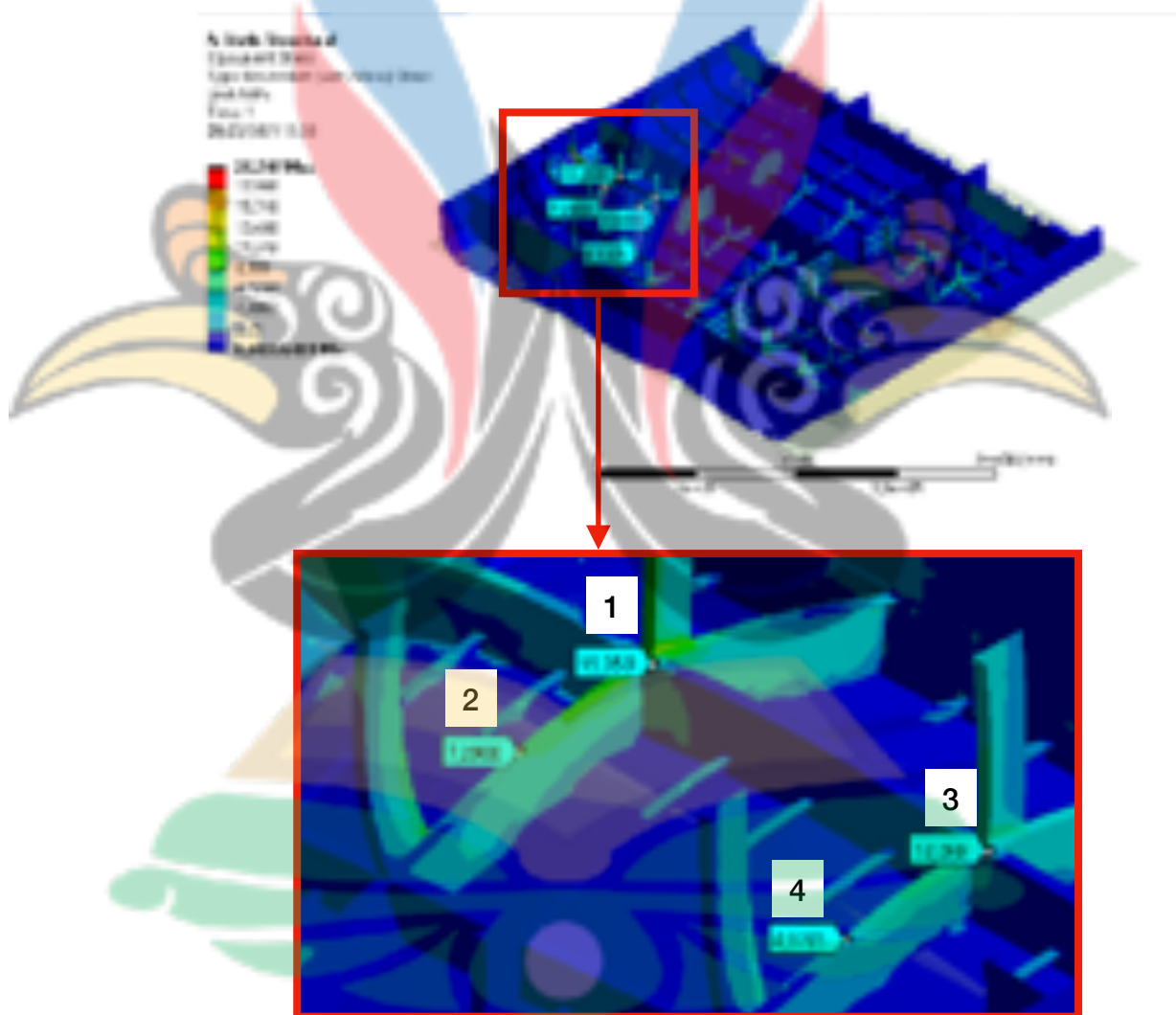
Titik	Deformasi (mm)
1	0.16278

Lanjutan Tabel 4.18

2	0.1161
3	0.15609
4	0.10915

4.12.3 *Cross Over Arrangement Model 1*

Dengan menggunakan koordinat tersebut pada *layout cross over arrangement* model 1, maka didapatkan hasil tegangan dan deformasi seperti Gambar 4.22.1 dan 4.22.1 sebagai berikut

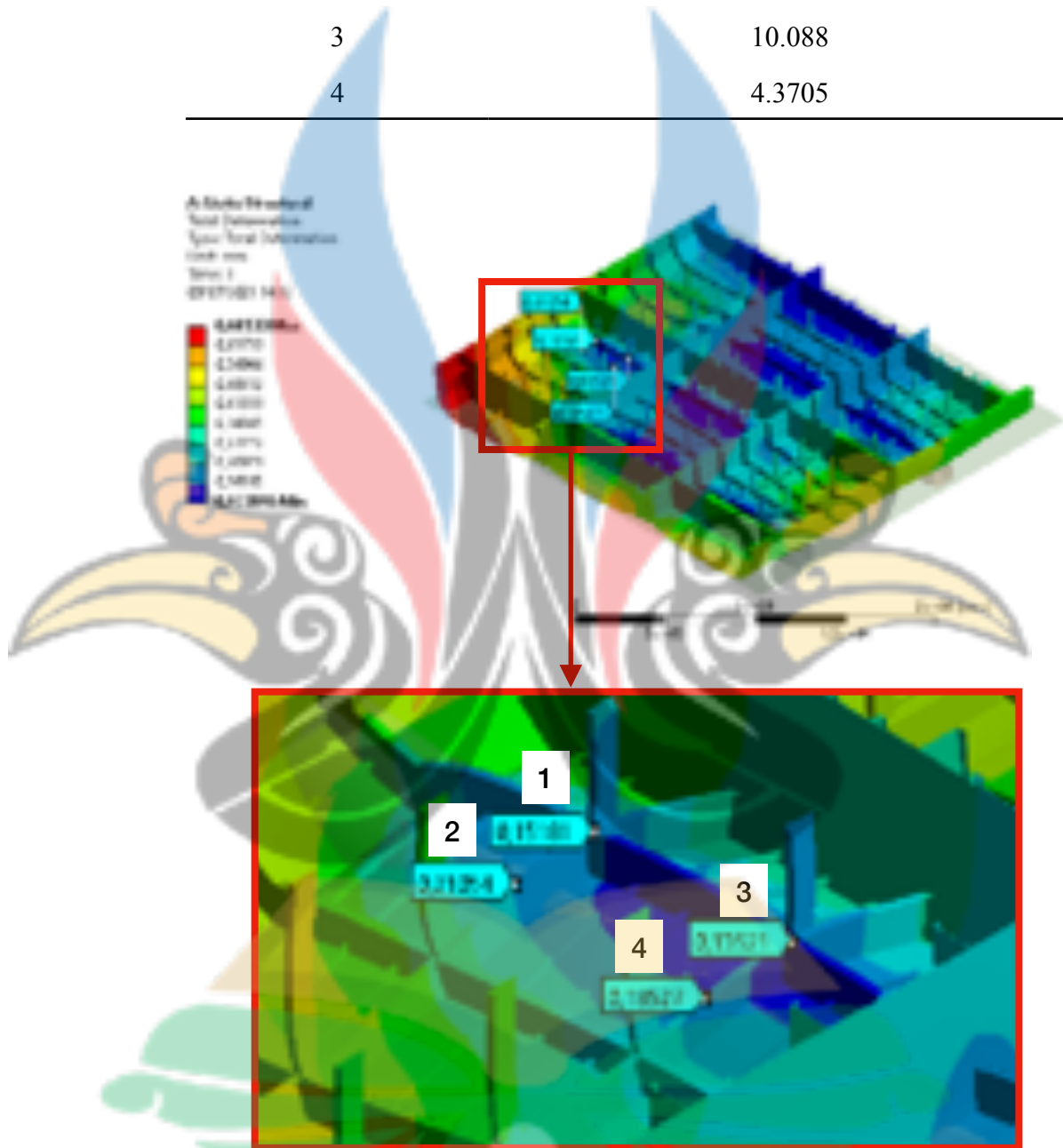


Gambar 4.22.1 Hasil Tegangan pada Koordinat Titik Acuan *Layout Cross Over Arrangement Model 1*

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *cross over arrangement* model 1 dimuat dalam Table 4.19 sebagai berikut

Tabel 4.19 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



Gambar 4.22.2 Hasil Deformasi pada Koordinat Titik Acuan *Layout Cross Over Arrangement* Model 1

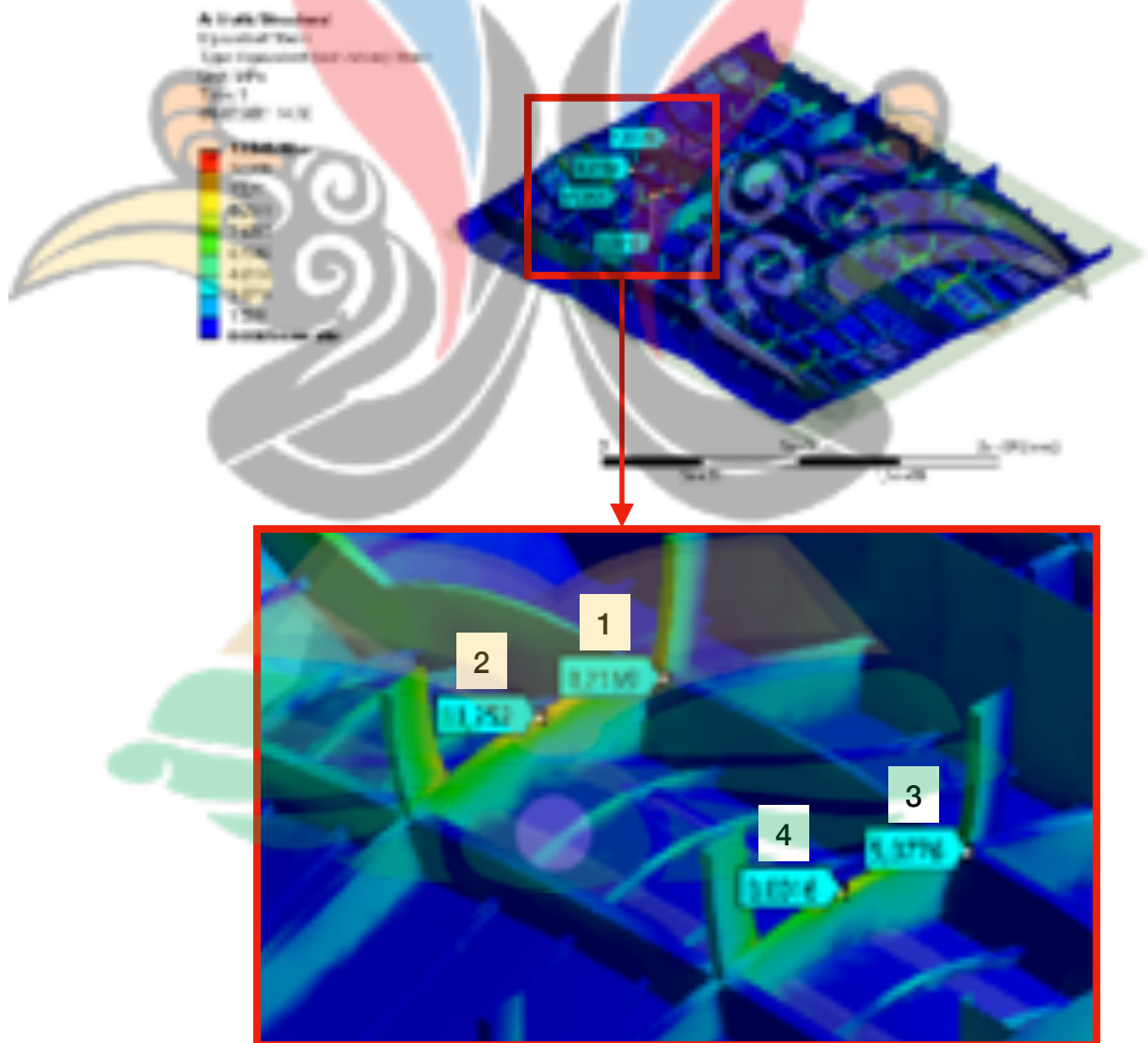
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *cross over arrangement* model 1 dimuat dalam Table 4.20 sebagai berikut

Tabel 4.20 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

4.12.4 *Cross Over Arrangement* Model 2

Dengan menggunakan koordinat tersebut pada *layout cross over arrangement* model 2, maka didapatkan hasil tegangan dan deformasi seperti Gambar 4.23.1 dam 4.23.1 sebagai berikut

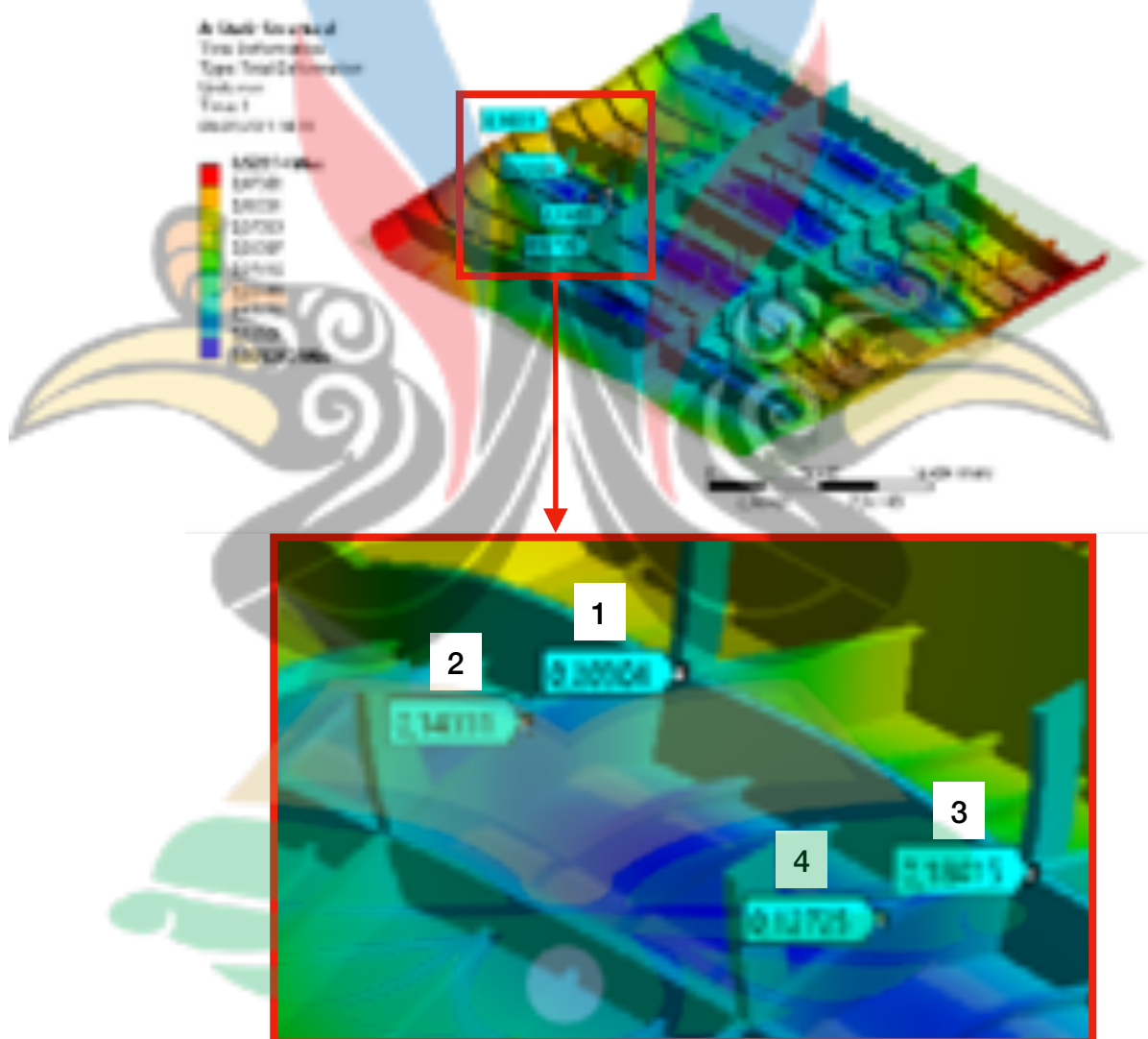


Gambar 4.23.1 Hasil Tegangan pada Koordinat Titik Acuan *Layout Cross Over Arrangement* Model 2

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *cross over arrangement* model 2 dimuat dalam Table 4.21 sebagai berikut

Tabel 4.21 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 4.23.2 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 4.22 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

4.13 Status *Airbag* Terhadap Beban Konstruksi

Dari hasil perhitungan beban, 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 :

$$q = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (4.7)$$

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

$$P_1 = q \times x \dots \dots \dots (4.8)$$

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

$$q_1 = \frac{P_1}{B} \dots \dots \dots (4.9)$$

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>	145.03	kN/m

Maka didapatkan nilai q dan P_1 sebagai berikut

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

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

Pada kondisi dimana $q_I < q_{bc}$, *airbag* tidak pecah. Sedangkan pada kondisi dimana $q_I > q_{bc}$, maka *airbag* pecah. Untuk lebih jelasnya bagaimana kondisi *airbag* yang menumpu kapal pada kondisi B_1 dan B_2 dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan 4.24

Tabel 4.23 Distribusi Beban *Airbag* yang Digunakan pada *Layout Two Row Arrangement*

No <i>Airbag</i>	B_1 (m)	q_I (ton/m)	q_{bc} (kN/m)	q_{bc} (ton/m)	Kondisi <i>Airbag</i>
1-2	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
3-4	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
5-6	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
7-8	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
9-10	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
11-12	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
13-14	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
15-16	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
17-18	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
19-20	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
21-22	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
23-24	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
25-26	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah
27-28	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah

Tabel 4.24 Distribusi Beban *Airbag* yang Digunakan pada *Layout Cross Over Arrangement*

No <i>Airbag</i>	B_2 (m)	q_I (ton/m)	q_{bc} (kN/m)	q_{bc} (ton/m)	Kondisi <i>Airbag</i>
1	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
2	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
3	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah

Lanjutan Tabel 4.24

4	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
5	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
6	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
7	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
8	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
9	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
10	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
11	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
12	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
13	18	8.784	145.03	14.58	Tidak Pecah
14	20	7.9056	145.03	14.58	Tidak Pecah

Pada Tabel 4.23 dan 4.24 dapat dilihat 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).

4.14 Perhitungan 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.

4.15 Analisa Kekuatan Konstruksi Global pada Model

4.15.1 Tegangan

Dari hasil perhitungan tegangan dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga pada konstruksi global model, didapatkan bahawa 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

4.15.2 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

4.16 Analisa Kekuatan Lokal pada Konstruksi *Bottom*

4.16.1 Tegangan

Berdasarkan hasil pengamatan titik acuan pada konstruksi *bottom* untuk setiap *layout* dan model pada Gambar 4.20.1, 4.21.1, 4.22.1 dan 4.23.1, didapatkan bahawa 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*.

4.16.2 Deformasi

Berdasarkan hasil pengamatan titik acuan pada konstruksi *bottom* untuk setiap *layout* dan model pada Gambar 4.20.2, 4.21.2, 4.22.2 dan 4.23.2, didapatkan bahawa 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*.

4.17 *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 *yield* sertifikat material seperti pada persamaan berikut,

$$SF = \frac{\text{Tegangan Yield Material}}{\text{Tegangan Maksimum Simulasi}} \dots\dots\dots(4.8)$$

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>
<i>Two Row Model 1</i>	11.62	440	355	30.55
<i>Two Row Model 2</i>	9.8347	440	335	34.06
<i>Cross Over Model 1</i>	20.247	440	335	16.55
<i>Cross Over Model 2</i>	13.846	440	335	24.19

Selanjutnya, dilakukan perhitungan *safety factor* menggunakan tegangan ijin BKI dengan persamaan berikut,

$$SF = \frac{\text{Tegangan Ijin BKI}}{\text{Tegangan Maksimum Simulasi}} \dots\dots\dots(4.9)$$

Tegangan ijin konstruksi *bottom* berdasarkan BKI Vol II 2019 *Sec 8 B 8.2.2.2* diperoleh dengan persamaan berikut,

$$\sigma_l, \sigma_q \leq \frac{150}{k} \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots\dots\dots(4.10)$$

Dimana,

σ_l = tegangan tekuk longitudinal *girder* (N/mm²)

σ_q = tegangan tekuk transverse *girder* (N/mm²)

k = faktor k material,

Jika,

$$k = \frac{295}{R_{eH} + 60} \dots\dots\dots(4.11)$$

Diketahui bahwa R_{eH} material bernilai 355 [N/mm²] maka k bernilai 0.72. Sehingga dengan menggunakan Persamaan 4.10, didapatkan tegangan ijin BKI bernilai 209.33 N/mm². Kemudian nilai tegangan ijin tersebut dibandingkan dengan tegangan maksimum hasil simulasi sehingga didapatkan *safety factor* seperti pada Tabel 4.28 berikut

Tabel 4.28 Perhitungan *Safety Factor* Menurut Tegangan Ijin BKI

<i>Layout</i>	Tegangan Maksimum Simulasi [MPa]	Tegangan Ijin BKI [MPa] atau [N/mm ²]	<i>Safety Factor</i>	Keterangan
<i>Two Row Model 1</i>	11.62	209.33	18.01	Aman
<i>Two Row Model 2</i>	9.8347	209.33	21.28	Aman
<i>Cross Over Model 1</i>	20.247	209.33	10.34	Aman
<i>Cross Over Model 2</i>	13.846	209.33	15.12	Aman

Setelah didapatkan nilai *safety factor* seperti pada Tabel 4.28, karena hasil nilai *SF* tersebut diatas standar keamanan konstruksi yaitu 1, dapat dikatakan bahwa status konstruksi kapal adalah aman jika ditumpu *airbag* ketika akan melakukan peluncuran.