



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Studi Penentuan Kekuatan Ultimat Struktur Konstruksi Kapal Sunship Eurocoaster

Hafizh Adin Pujanto¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Muhammad Iqbal¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: hafizhadinpujanto@yahoo.com

Abstrak

Kapal kontainer mempunyai beban yang cukup besar dan dalam pengoperasian kapal tersebut harus dirancang sedemikian rupa agar terhindar dari *elastic deformation* berlebihan yang dapat menimbulkan terjadinya perubahan bentuk geometri akibat beban yang kapal terima. Palkah besar tersebut sangat mempengaruhi dalam kekuatan atau momen maksimum kapal saat kapal beroperasi. Pada penelitian ini penulis membuat model kapal dalam variasi kondisi air tenang, *sagging* dan *hogging* dari kapal kontainer *sunship eurocoaster* yang dibangun di PT. Janata Marina Indah Semarang, Jawa Tengah. Model dibuat pada *software Msc Patran* dan dianalisa menggunakan *Msc Nastran* dengan analisa metode elemen hingga untuk mencari nilai momen maksimum pada konstruksi kapal. Analisa perhitungan variasi momen dilakukan dengan *software Hydromax*. Hasil analisa didapat momen air tenang 7695398,53 Nm, *sagging* -81045423,22 Nm, *hogging* 62124725,82 Nm, momen *sagging* 235 Mpa -106850016,35 Nm, *hogging* 235 Mpa 107106580,41 Nm, *sagging* 400 Mpa -181872368,26 Nm, *hogging* 400 Mpa 18230907304 Nm, *sagging ultimat* -236434078,7 Nm, *hogging ultimat* 236434078,7 Nm.

Kata Kunci : Kapal Kontainer, Konstruksi Kapal, Momen Maksimum, Deformasi, Metode Elemen Hingga, *Ultimate Strength*, Tegangan Tarik, Tegangan Luluh, Kekuatan Ultimat

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki wilayah perairan yang sangat luas yaitu luas laut kedaulatan 3,1 juta km², dan luas laut ZEE (Zona Ekonomi Eksklusif) 2,7 juta km². Alat transportasi yang digunakan untuk melewati perairan tersebut maka dibutuhkan kapal, oleh karena itu peranan kapal sangatlah penting. Kapal adalah alat transportasi yang digunakan di laut dengan alat penggerak berupa tenaga mesin, tenaga manusia, dan bantuan alam.[1]

Kekuatan suatu konstruksi sangat tergantung beban yang bekerja pada konstruksi tersebut. Beberapa beban terpenting adalah beban dinamis dalam arti bahwa bekerjanya beban tersebut berubah bersamaan dengan perubahan waktu. Beban lain bersifat statis murni misalnya berat badan kapal dan muatan yang diangkut dalam pelayarannya serta gaya tekan air keatas yang

bekerja pada kapal di air tenang. Terdapat dua jenis kapal pengangkut, yaitu dry cargo (bulk cargo) dan break bulk cargo. Kapal bulk kargo adalah kapal yang mengangkut semacam biji-bijian ataupun batu-batuan yang dimana muatan tersebut tidak terkemas (unpacaged). Sebaliknya kapal break bulk cargo memuat muatan tersebut dalam keadaan terkemas (packaged).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kapal yang dimaksud mengangkut barang yang sudah diatur di dalam peti-peti. Muatan peti kemas disamping didalam palkah juga diletakkan diatas dek dengan pengikatan yang kuat, sehingga petikemas tersebut tidak bergeser dari tempatnya semula pada saat berlayar.[2]

Dengan adanya lebar palkah kapal yang sangat besar, maka harus diperhatikan besar tegangan kapal saat kapal berlayar. Konstruksi

kapal dibuat sedemikian rupa sehingga barang yang ada didalamnya terjamin keamanan dari kerusakan dan lain-lain. Kapal pengangkut peti kemas harus mempunyai fasilitas pelabuhan khusus *Container*.

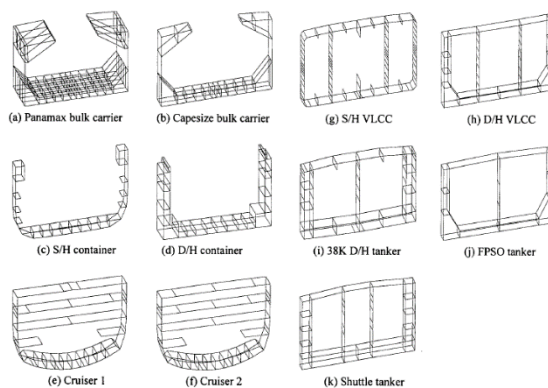
Metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan.

Tahapan langkah pembuatan model untuk dianalisa menggunakan metode elemen hingga dapat dijelaskan secara garis besar menjadi sebagai berikut:

1. Pembuatan geometri awal struktur yang akan dianalisa.
2. Penentuan material.
3. Pembuatan proses *meshing*.
4. Proses *equivalence*.
5. Analisa.

Kekuatan luluh (*yield strength*) adalah batas kekuatan bahan untuk menghasilkan deformasi dimana saat beban dihilangkan bahan masih dapat kembali kebentuk semula namun terjadi deformasi permanen yang kecil.

Kekuatan ultimat adalah kapasitas bahan atau struktur untuk menahan beban cenderung memanjang, sebagai lawan kuat tekan, yang tahan beban cenderung untuk mengurangi ukuran. Dengan kata lain, kekuatan tarik menolak ketegangan (ditarik terpisah), sedangkan kekuatan tekan tahan kompresi (yang bersama-sama). Kekuatan tarik utama diukur dengan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material ketika sedang diregangkan atau ditarik sebelum berubah. Dalam studi kekuatan bahan, kekuatan tarik, kuat tekan, dan kekuatan geser dapat dianalisis secara independen. (Smith & Hashemi, 2006, p. 223)



Gambar 1. Jenis ruang muat kapal[3]

Sagging adalah Konsentrasi muatan yang terlalu besar pada bagian tengah kapal, sehingga kapal tertekan pada bagian tengahnya yang mengakibatkan bentuk kapal hampir menyerupai huruf "U". *Sagging* juga bisa terjadi karena adanya dua puncak gelombang yang berada di bagian depan dan belakang kapal, sehingga gaya keatas kapal lebih besar pada bagian depan dan belakang namun pada bagian tengah kapal mengalami gaya kebawah yang lebih besar.

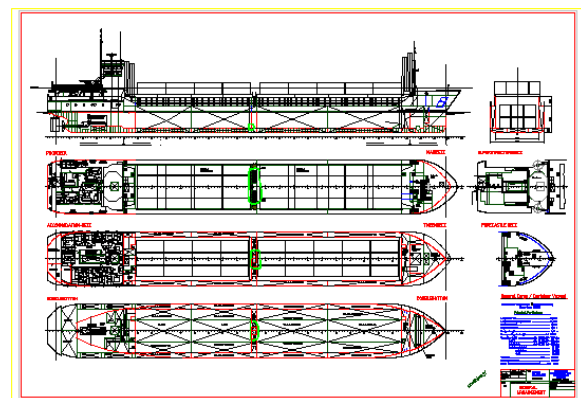
Sedangkan *Hogging* adalah Konsentrasi muatan yang terlalu besar pada bagian depan dan belakang kapal, sehingga kapal tertekan pada bagian ujung-ujungnya yang mengakibatkan bentuk kapal hampir menyerupai huruf "n". *Hogging* juga bisa terjadi karena adanya satu puncak gelombang yang berada di tengah kapal, sehingga gaya keatas kapal lebih besar pada bagian tengah kapal namun pada bagian depan dan belakang kapal mengalami gaya kebawah yang lebih besar.[5]

3. METODOLOGI PENELITIAN

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan ultimat konstruksi kapal sehingga didapat besar momen maksimum kapal yang mengakibatkan rusaknya kapal.

3.1 Data Kapal

<i>Length over all (Loa)</i>	: 89,60 meter
Lpp	: 84,60 meter
B	: 11,65 meter
H	: 5,800 meter
T	: 4,400 meter
Cb	: 0,86



Gambar 2. Lines Plan kapal Sunship Eurocoaster

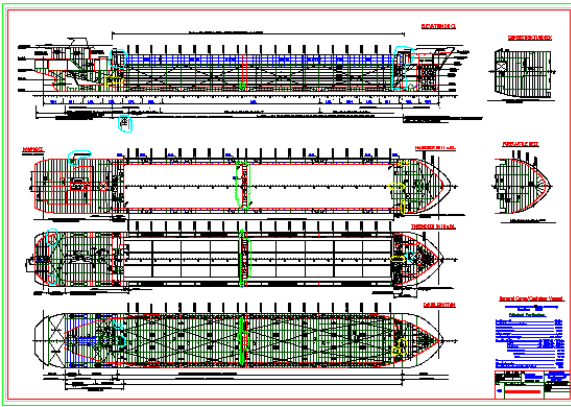
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan LWT dan DWT kapal

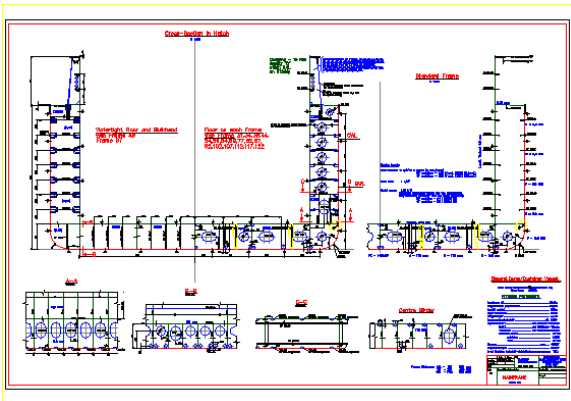
Hasil rangkuman LWT dan DWT kapal.

Tabel 1. Penyebaran gaya berat kapal dari LWT

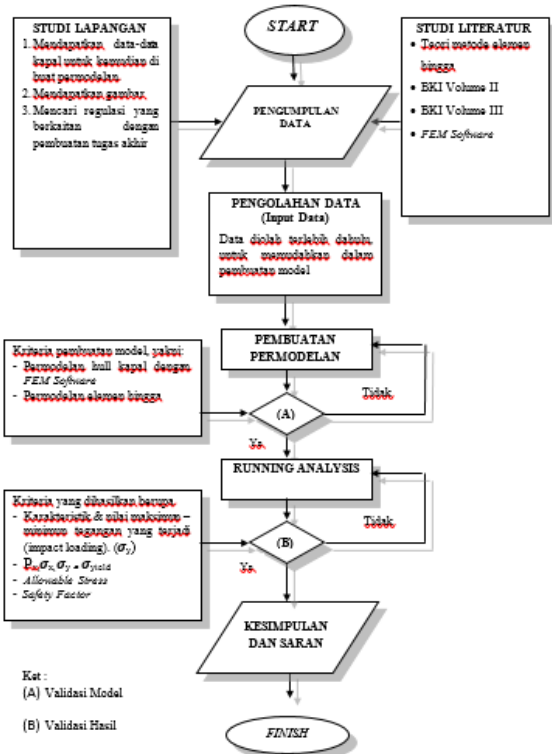
Station	Hull	FC deck	Poop deck	Top deck	Baling2 & Poros di luar KM	Engine Room	AP/FP Tank	Equipment at fore	LWT
AP - 1	17.25		3.03					4.07	24.35
1 - 2	6.34		3.04		9.87			0.37	19.61
2 - 3	11.98		3.72			14.53			34.52
3 - 4	13.45		4.26	0.54		13.41			31.66
4 - 5	14.78		4.80	0.50		12.32			32.41
5 - 6	15.98		5.35	0.85		12.32			34.50
6 - 7	17.05		6.87	0.86		13.28			38.06
7 - 8	18.02		7.04	1.27		13.28			39.61
8 - 9	18.90								18.90
9 - 10	19.69								19.69
10 - 11	20.37								20.37
11 - 12	20.94								20.94
12 - 13	21.48								21.48
13 - 14	21.99								21.99
14 - 15	22.33								22.33
15 - 16	22.50								22.50
16 - 17	22.62								22.62
17 - 18	22.67								22.67
18 - 19	22.70								22.70
19 - 20	22.70								22.70
20 - 21	22.67								22.67
21 - 22	22.62								22.62
22 - 23	22.53								22.53
23 - 24	22.42								22.42
24 - 25	22.30								22.30
25 - 26	22.19								22.19
26 - 27	21.94								21.94
27 - 28	21.54								21.54
28 - 29	21.00								21.00
29 - 30	20.32								20.32
30 - 31	19.52								19.52
31 - 32	18.62								18.62
32 - 33	17.54								17.54
33 - 34	16.29								16.29
34 - 35	14.84								14.84
35 - 36	13.20								13.20
36 - 37	11.32	1.85							13.17
37 - 38	9.22	4.02							13.24
38 - 39	5.61	3.16					7.23		16.01
39 - FP	7.28	3.19					15.67		26.14
Jumlah									859.57



Gambar 3. Profil Construction kapal Sunship Eurocoaster



Gambar 4. Midship Section kapal Sunship Eurocoaster



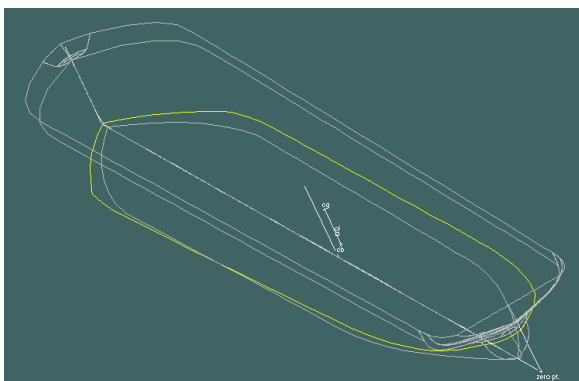
Gambar 5. Flow chard Metodologi Penelitian

Tabel 2. Penyebaran gaya berat kapal dari DWT

Station	FOT	DOT	LOT	Cargo Hold I	Cargo Hold II	Fresh Water	DWT
AP - 1						1.33	1.33
1 - 2						2.34	2.34
2 - 3			0.32				0.32
3 - 4			-0.18				-0.18
4 - 5			0.14				0.14
5 - 6							0.00
6 - 7							0.00
7 - 8							0.00
8 - 9	11.64				35.24		46.88
9 - 10	-4.60				28.63		24.03
10 - 11	1.42				27.03		28.45
11 - 12	1.42				27.03		28.45
12 - 13	1.42				27.03		28.45
13 - 14	1.42				27.03		28.45
14 - 15	1.42				27.03		28.45
15 - 16	1.42				27.03		28.45
16 - 17	1.42				27.03		28.45
17 - 18	1.42				27.03		28.45
18 - 19	1.42				30.14		31.56
19 - 20	0.84				27.72		28.56
20 - 21	0.21			20.12			20.32
21 - 22				30.14			30.14
22 - 23				27.03			27.03
23 - 24				27.03			27.03
24 - 25				27.03			27.03
25 - 26				27.03			27.03
26 - 27				27.03			27.03
27 - 28				27.03			27.03
28 - 29				27.03			27.03
29 - 30				27.03			27.03
30 - 31				27.03			27.03
31 - 32				27.03			27.03
32 - 33				27.03			27.03
33 - 34				30.39			30.39
34 - 35				22.86			22.86
35 - 36							0.00
36 - 37							0.00
37 - 38							0.00
38 - 39							0.00
39 - FP							0.00
Jumlah =							763.577

Didapatkan Lwl total 1818 ton, DWT kapal total 1614,97 ton. Sedangkan displacement perhitungan kekuatan memanjang 3432,96 ton.

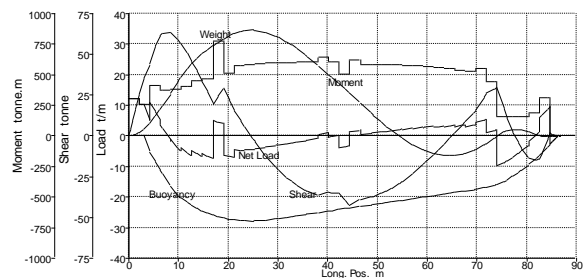
4.2 Perhitungan Momen dengan analisa software *Hydromax*



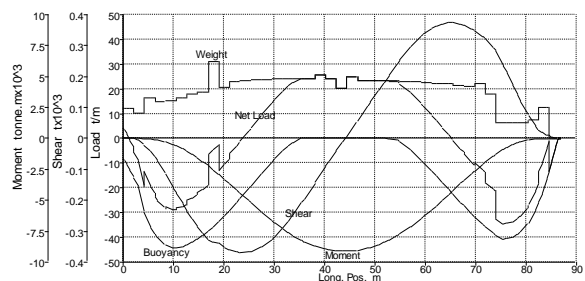
Gambar 6. Model *Hydromax*

Tabel 3. *Input Loadcase Hydromax*

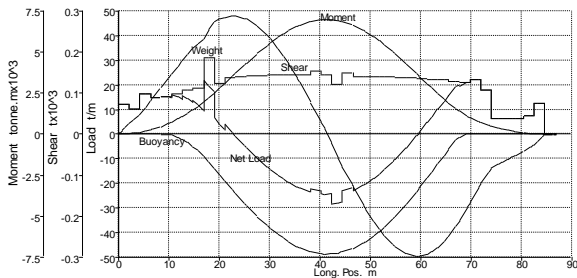
Item Name	Quantity	Weight Tonne	Long.Arm	Aft.Limit	Fwd.Limit	Vert.Arm	Trans.Arm
AP-1	1	25.68	1.058	0	2.115	4.4	0
1.2	1	21.95	3.172	2.115	4.23	4.4	0
2.3	1	34.84	5.287	4.23	6.345	4.4	0
3.4	1	31.48	7.403	6.345	8.46	4.4	0
4.5	1	32.54	9.517	8.46	10.575	4.4	0
5.6	1	34.5	11.632	10.575	12.69	4.4	0
6.7	1	38.06	13.748	12.69	14.805	4.4	0
7.8	1	39.61	15.863	14.805	16.92	4.4	0
8.9	1	65.78	17.978	16.92	19.035	4.4	0
9.10	1	43.72	20.093	19.035	21.15	4.4	0
10.11	1	48.82	22.207	21.15	23.265	4.4	0
11.12	1	49.39	24.322	23.265	25.38	4.4	0
12.13	1	49.93	26.437	25.38	27.495	4.4	0
13-14	1	50.44	28.552	27.495	29.61	4.4	0
14-15	1	50.78	30.667	29.61	31.725	4.4	0
15-16	1	50.95	32.783	31.725	33.84	4.4	0
16-17	1	51.06	34.897	33.84	35.955	4.4	0
17-18	1	51.12	37.013	35.955	38.07	4.4	0
18-19	1	54.26	39.127	38.07	40.185	4.4	0
19-20	1	51.26	41.242	40.185	42.3	4.4	0
20-21	1	43	43.357	42.3	44.415	4.4	0
21-22	1	52.76	45.472	44.415	46.53	4.4	0
22-23	1	49.56	47.588	46.53	48.645	4.4	0
23-24	1	49.45	49.702	48.645	50.76	4.4	0
24-25	1	49.33	51.818	50.76	52.875	4.4	0
25-26	1	49.22	53.932	52.875	54.99	4.4	0
26-27	1	48.96	56.048	54.99	57.105	4.4	0
27-28	1	48.57	58.162	57.105	59.22	4.4	0
28-29	1	48.03	60.277	59.22	61.335	4.4	0
29-30	1	47.35	62.393	61.335	63.45	4.4	0
30-31	1	46.55	64.507	63.45	65.565	4.4	0
31-32	1	45.64	66.623	65.565	67.68	4.4	0
32-33	1	44.57	68.738	67.68	69.795	4.4	0
33-34	1	46.68	70.853	69.795	71.91	4.4	0
34-35	1	37.7	72.968	71.91	74.025	4.4	0
35-36	1	13.2	75.082	74.025	76.14	4.4	0
36-37	1	13.17	77.198	76.14	78.255	4.4	0
37-38	1	13.24	79.313	78.255	80.37	4.4	0
38-39	1	16.01	81.428	80.37	82.485	4.4	0
39-FP	1	26.14	83.543	82.485	84.6	4.4	0
Total Weij		1665	LCG=40.858	VCG=4.40		TCG=0.000	



Gambar 7. Air Tenang

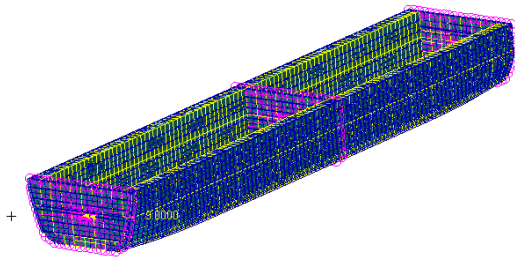


Gambar 8. *Sagging*



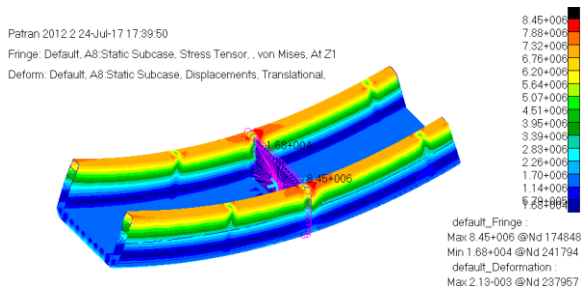
Gambar 9. Hogging

4.3 Permodelan Msc Patran dan Analisa Msc Nastran

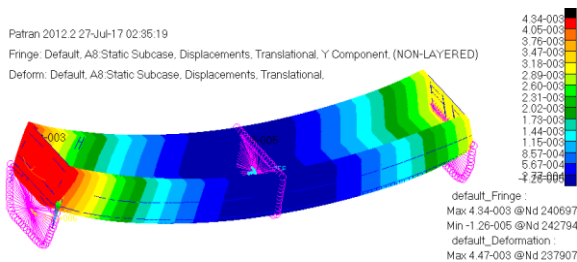


Gambar 10. Model Msc Patran

- Kondisi Air Tenang
Pada kondisi ini momen terbesar yang terjadi adalah 7695398,53 Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $8,45 \times 10^6$ Pa pada *node* @174848.

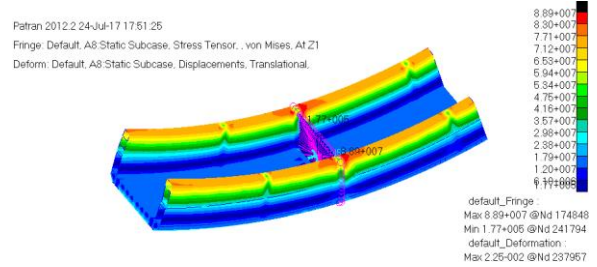


Gambar 11. Air Tenang

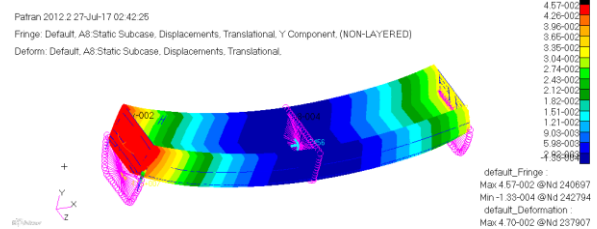


Gambar 12. Deformasi kondisi air tenang

- Kondisi *Sagging* Normal
Pada kondisi ini momen terbesar yang terjadi adalah $-81045423,22$ Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $8,89 \times 10^7$ Pa pada *node* @174848.

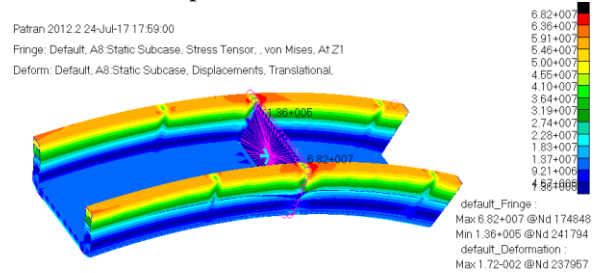


Gambar 13. *Sagging* normal

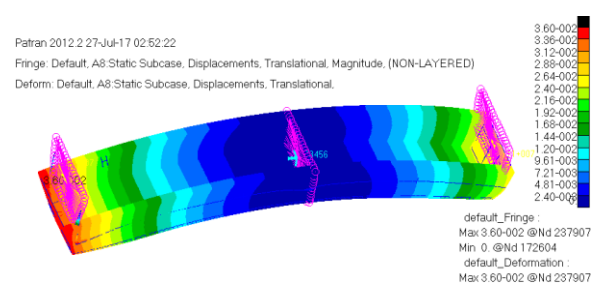


Gambar 4.3.5 Deformasi *sagging* normal

- Kondisi *Hogging* normal
Pada kondisi ini momen terbesar yang terjadi adalah $62124725,82$ Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $6,82 \times 10^7$ Pa pada *node* @174848.

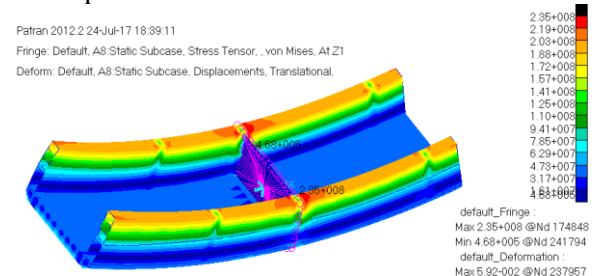


Gambar 14. *Hogging*

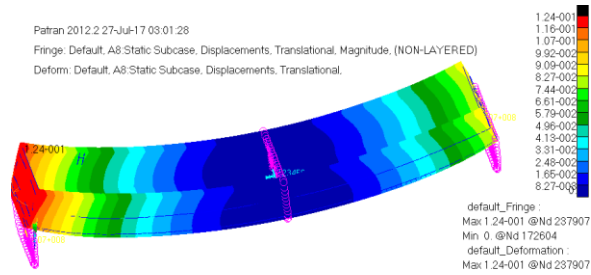


Gambar 4.3.7 Deformasi *hogging* normal

- Kondisi *Sagging* 235 Mpa
Pada kondisi ini momen adalah $-106850016,35$ Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $2,35 \times 10^8$ Pa pada *node* @174848.

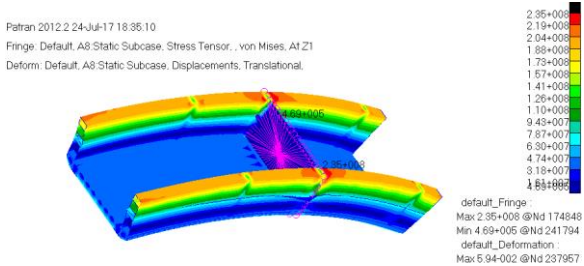


Gambar 15. *Sagging* 235 Mpa

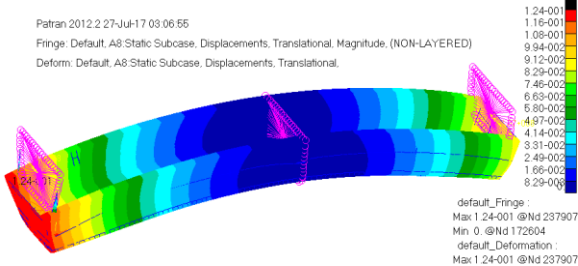


Gambar 16. Deformasi *sagging* 235 Mpa

- Kondisi *Hogging* 235 Mpa
 Pada kondisi ini momem adalah 107106580,41 Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $2,35 \times 10^8$ Pa pada *node* @174848.

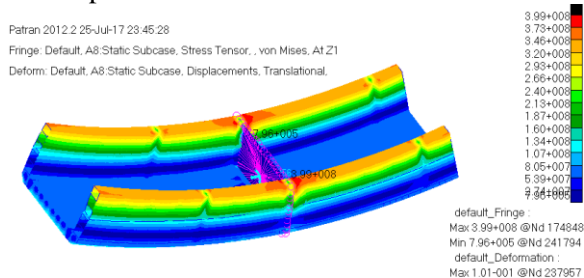


Gambar 17. *Hogging* 235 Mpa

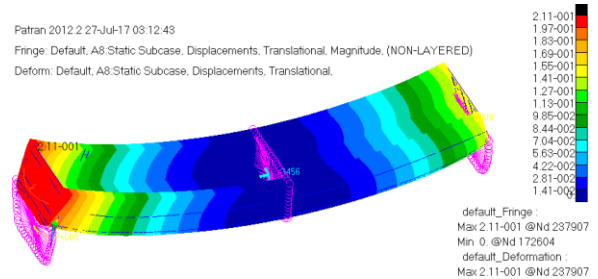


Gambar 18. Deformasi *Hogging* 235 Mpa

- Kondisi *Sagging* 400 Mpa
 Pada kondisi ini momem adalah -181872368,26 Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $4,00 \times 10^8$ Pa pada *node* @174848.

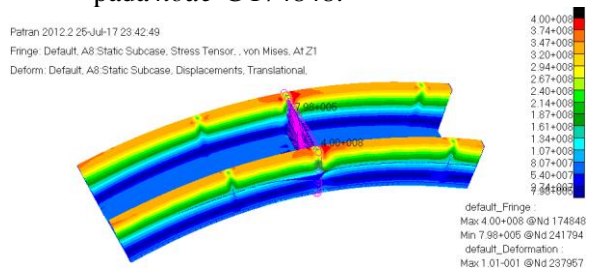


Gambar 19. *Sagging* 400 Mpa

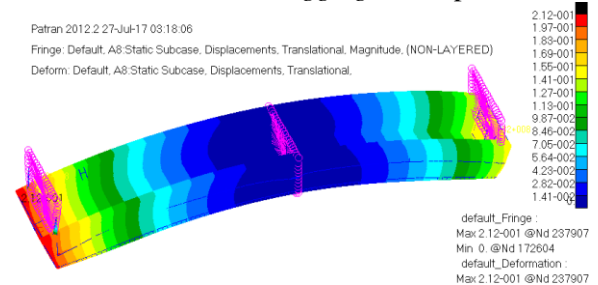


Gambar 20. Deformasi *Sagging* 400 Mpa

- Kondisi *Hogging* 400 Mpa
 Pada kondisi ini momem adalah 182309073,04 Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $4,00 \times 10^8$ Pa pada *node* @174848.

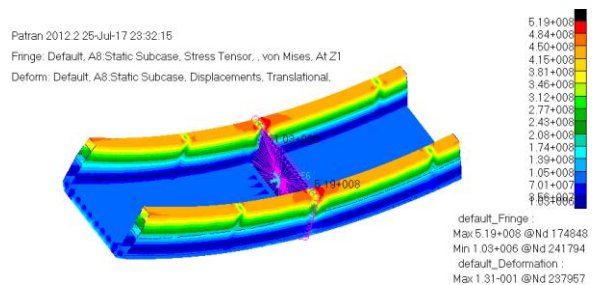


Gambar 21. *Hogging* 400 Mpa

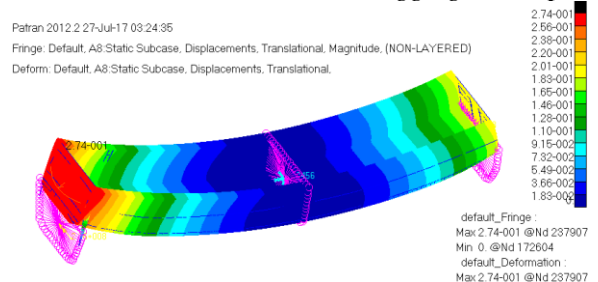


Gambar 22. Deformasi *Hogging* 400 Mpa

- Kondisi *Ultimate Sagging* 520 Mpa
 Pada kondisi ini momem adalah -236434078,7 Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $5,19 \times 10^8$ Pa pada *node* @174848.

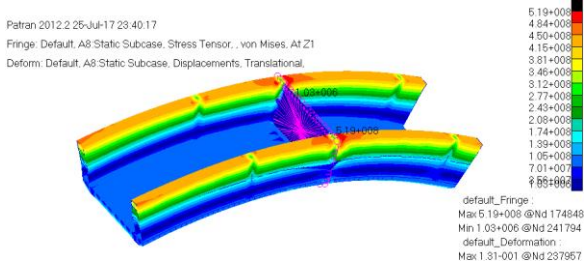


Gambar 23. *Ultimate Sagging* 520 Mpa

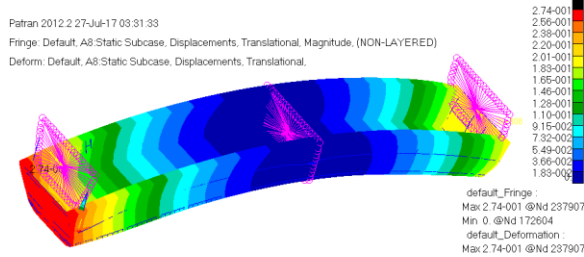


Gambar 24. Deformasi *Ultimate Sagging* 520 Mpa

- Kondisi *Ultimate Hogging* 520 Mpa Pada kondisi ini momem adalah 236434078,7 Nm. Tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar $5,19 \times 10^8$ Pa pada *node* @174848.



Gambar 25. *Ultimate Hogging* 520 Mpa



Gambar 26. Deformasi *Ultimate Hogging* 520 Mpa

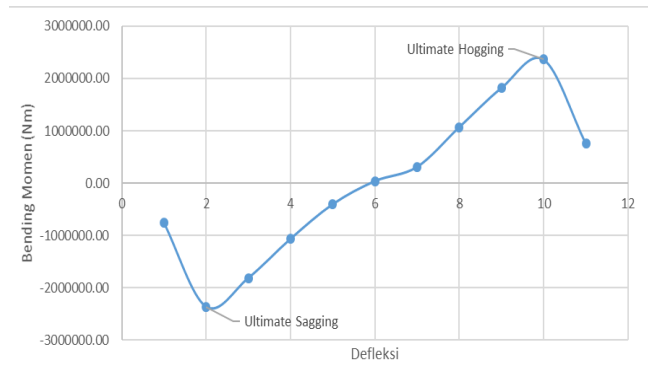
Hasil dari running variasi dapat dirangkum ke dalam table dan grafik.

Tabel 4. Rangkuman variasi kondisi

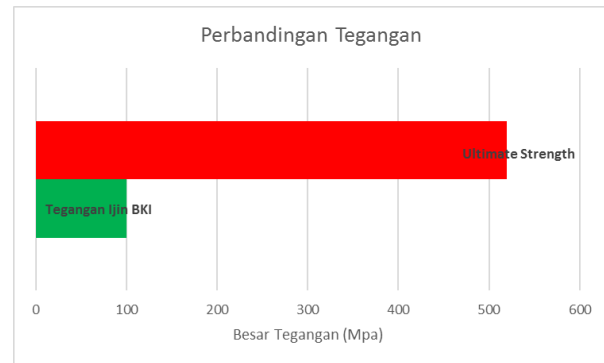
No	Kondisi	Besar Momen (Nm)	Besar Stress Tensor	Deformasi	Deformasi Cm	Deformasi M	Stress Tensor Mpa	Stress Tensor Pa
1	Sagging	-75022351.91	400000000	0.101	10.1	0.101	400	400000000
2	Ultimate Sagging	-236434078.7	5.19E+08	2.74E-01	27.4	0.274	519.000	519000000
3	Sagging 400 Mpa	-181872368.26	4.00E+08	2.11E-01	21.1	0.211	400.000	400000000
4	sagging 235 Mpa	-106850016.35	2.35E+08	1.24E-01	12.4	0.124	235.000	235000000
5	sagging Hidromax	-40522711.50	8.89E+07	4.57E-02	4.57	0.0457	88.90	88900000
6	Air Tenang Hidromax	3847699.00	8.45E+06	4.47E-03	0.447	0.0045	8.45	8450000
7	Hogging Hidromax	31062362.91	6.82E+07	3.60E-02	3.6	0.0360	68.20	68200000
8	Hogging 235 Mpa	107106580.41	2.35E+08	1.24E-01	12.4	0.124	235.000	235000000
9	Hogging 400 Mpa	182309073.04	4.00E+08	2.12E-01	21.2	0.212	400.000	400000000
10	Ultimate Hogging	236434078.7	5.19E+08	2.74E-01	27.4	0.274	519	519000000
11	Hogging	75202492.63	400000000	0.101	10.1	0.101	400	400000000

Untuk mengetahui alur dalam setiap kondisi, maka dapat digambarkan pada sebuah grafik dimana disetiap kondisi digambarkan dari kondisi air tenang, hingga dalam kondisi *Ultimate Sagging* dan *Ultimate Hogging*.

Dari setiap kondisi dirangkum kedalam grafik momen :



Gambar 27. Rangkuman Momen



Gambar 28. Perbandingan Tegangan *ultimate* dan tegangan ijin BKI

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dengan mengetahui kekuatan Tarik maksimal baja (*tensile strength*) dari Biro Klasifikasi Indonesia Volume II Rules For Hull Section 2 tentang material dimana besar kekuatan Tarik maksimal baja adalah sebesar 520 Mpa[4], maka dapat diketahui besar momen yang dibutuhkan untuk mematahkan konstruksi kapal.
2. Hasil dari penelitian didapat besar momen *ultimate sagging* adalah sebesar -236434078,7 Nm dan besar momen *ultimate hogging* adalah 236434078,7 Nm. Besar deformasi yang terjadi saat kondisi ultimate sagging dan ultimate hogging adalah 0,274 m atau 27,4 cm.

SARAN

1. Permodelan dengan menggunakan metode Elemen hingga sangat bergantung kepada jumlah elemen yang dipergunakan. Sehingga untuk mendapatkan hasil pemodelan yang lebih baik hendaknya pembuatan model dilakukan dengan pembagian *mesh* yang lebih banyak lagi, terutama pada daerah yang menjadi mengalami pemusatan tegangan.

Dengan demikian hasil yang akan didapat mendekati kondisi sesungguhnya.

2. Perlu dilakukan kajian *fatigue* dari struktur konstruksi kapal *sunship eurocoaster*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Triono AM. 2015 *Luas Perairan Indonesia*
- [2] Ari Wibawa Budi Santosa. 2012. *Pengantar Ilmu Perkapalan*, UNDIP, Semarang
- [3] Joem K. Paik, Anil K. Thayamballi, dan Jung S. Che. 1996. *Ultimate Strength of Ship Hull Under Combined Vertical Bending, Horizontal Bending, and Shearing Forces*
- [4] BKI.2013. *Volume II Rules For Hull*
- [5] Anonymouse. (2016). *Tugas Merancang Kapal V “Longitudinal Strength”*. Semarang. UNDIP