



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Respon Struktur *Parallel Middle Body* Pada Kapal Ternak Tipe Katamaran

Ilman Arpi¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*)e-mail : ilmanarpi08@gmail.com, ahmadfzakki@yahoo.com, hartono.yudo@yahoo.com

Abstrak

Proses pengangkutan sapi sering kali membutuhkan waktu yang lama. Akibatnya, sapi mengalami stress di jalan. Perencanaan Kapal Ternak tipe Katamaran sebagai alternatif untuk pengangkutan (transportasi) sapi antar pulau, berdasarkan penelitian sebelumnya bentuk kapal multihull dari katamaran memiliki keunggulan dari segi stabilitas dan kecepatan dibandingkan kapal monohull. Selain itu, Kapal katamaran perlu ditinjau dari segi kekuatan akibat adanya beban kombinasi bertujuan untuk mengetahui respon struktur pada kapal. Permodelan menggunakan analisa maxsurf untuk mengetahui besaran momen dan pembebanan dari setiap kondisi gelombang serta Msc. Nastran & Patran, software berbasis finite element analysis untuk mengetahui besaran respon struktur *parallel middle body*. Pada hasil kekuatan memanjang pada struktur *parallel middle body* didapatkan hasil tegangan sebesar 41,7MPa pada kondisi air tenang, 66 MPa pada kondisi Sagging dan 114 MPa pada kondisi Hogging. Pada saat air tenang tegangan maksimum terjadi di daerah Second Deck, dikarenakan adanya beban lokal pada struktur. Sementara, pada saat kondisi Sagging dan hogging tegangan maksimum terjadi pada sekat tengah memanjang (*centre longitudinal Bulkhead*) bagian depan dan belakang pada struktur jembatan katamaran (*Bridge Deck*). Untuk itu, perlu diperhatikan pada sambungan struktur antar dek katamaran (*Cross Deck*) dikarenakan terjadi tegangan maksimum pada saat kondisi Sagging dan Hogging. Bila mengacu pada izin sebesar 184,125 MPa, maka kapal ternak katamaran yang dirancang telah mampu beroperasi di perairan Indonesia yang memiliki tinggi gelombang rata-rata sebesar 4 meter.

Kata Kunci : Respon Struktur, Hydrostatic Pressure, Tegangan, Finite Element Analysis

1 PENDAHULUAN

Proses pengangkutan (transportasi) sapi antar pulau sering kali membutuhkan waktu yang lama sehingga sapi sering mengalami stress di jalan. Selama ini kapal laut, truk maupun kereta api yang digunakan sebagai sarana pengangkutan sapi tidak dirancang baik dan pemuatannya sering melebihi kapasitas tampung. Penyediaan pakan dan minuman sepanjang perjalanan juga tidak memadai.

Kapal – kapal yang digunakan untuk mengangkut kebanyakan adalah kapal kayu dengan kapasitas 100-300 ekor sapi, walaupun ada juga kapal ternak yang berupa kapal motor. Namun kapal – kapal tersebut tidak dirancang khusus untuk mengangkut sapi. Sehingga tidak tersedia fasilitas yang selengkap untuk sapi selama

perjalanan dan tempat pakan dan minum sapi pun tidak memadai. Akibatnya sapi mengalami stress dan terjadi penurunan berat badan secara drastis dimana hal tersebut akan sangat merugikan bagi konsumen maupun produsen [1].

Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya pada berbagai aspek yang terkait dengan kapal pengangkut ternak. Penelitian – penelitian tersebut umumnya mengkaji terkait kriteria – kriteria khusus untuk kapal ternak agar dalam operasinya dapat menyesuaikan dengan kondisi ternak. Salah satu kriteria yang telah dihasilkan dari penelitian sebelumnya yaitu terkait kriteria olah gerak khusus untuk kapal ternak[2]. Selain itu, riset yang dilakukan oleh *Australian Maritime and Safety Authority (AMSA)* telah menghasilkan suatu aturan yang terkait tentang pembangunan kapal ternak, stabilitas dan

sistem penunjang ternak dalam kapal selama di perjalanan. Aturan – aturan tersebut dikumpulkan dan diterbitkan dalam *Marine Order 43 (Cargo and Cargo Handling -Livestock)* 2006 atau yang lebih dikenal sebagai *AMSA MO43*[3].

Berdasarkan dari penelitian sebelumnya dari segi desain dan konsep bentuk kapal katamaran memiliki keunggulan karena luasan geladak lebih besar, stabilitas dan kecepatan lebih baik dibandingkan kapal monohul.

Perancangan sebuah kapal harus mencakup berbagai aspek baik teknis, ekonomis pada saat beroperasi. Semakin berkembangnya penelitian yang dilakukan terhadap desain lambung (*hull*) yang bertujuan mendapat performance kapal yang baik tanpa mengedepankan kekuatan struktur kapal tersebut. Kekuatan struktur konstruksi merupakan salah satu aspek teknis yang mempengaruhi tingkat keamanan kapal saat beroperasi[4].

Umumnya, kapal katamaran yang diteliti berukuran kecil sehingga kurang adanya aturan khusus mengenai segi kekuatan strukturnya. Begitu pula peraturan yang dibuat oleh Biro Klasifikasi Indonesia untuk tipe *special craft* belum sepenuhnya diperhatikan[5]. Berdasarkan hal tersebut, analisis ini bertujuan untuk mengetahui besar kekuatan kapal akibat pengaruh pembebanan pada model serta pembebanan yang ditimbulkan gelombang terhadap struktur, khususnya konstruksi hubungan antara deck dan lambung bagian dalam secara melintang (*Cross Deck*).

Oleh karena itu, Penelitian ini difokuskan pembebanan statis karena adanya beban internal yang disebabkan oleh pembebanan yang ada di kapal dan beban eksternal yang disebabkan oleh keadaan laut yang tenang maupun bergelombang. Sehingga dari permasalahan yang ada untuk mengetahui nilai tegangan (*strees*) pada struktur akibat dari respon kapal.

2 METODE

2.1 Objek Penelitian

Kapal pengangkut ternak (*Livestock Carrier*) adalah kapal yang didesain secara khusus untuk mengangkut sejumlah hewan ternak yang dilengkapi dengan kebutuhan-kebutuhan ternak pada saat berlayar seperti : makanan, air, serbuk kayu untuk kendang, pengobatan ternak, dan sebagainya. Kapal pengangkut ternak dapat berlayar dalam jangka waktu yang cukup lama yaitu dari tiga hari sampai dengan tiga atau empat minggu. Fungsi dari kapal ternak untuk memenuhi kebutuhan pasokan daging sapi di setiap daerah.



Gambar 1. *Livestock Carrier Vessel*

Objek dari penelitian ini adalah kapal Kapal Ternak tipe Katamaran dengan ukuran utama :

Loa	=	95,76	m
Lpp	=	88	m
B	=	26,75	m
T	=	2,82	m
H	=	6,48	m
Cb	=	0,5	m
Bdemihull	=	5,5	m
Displacement	=	1610	Ton

2.2 Pembebanan Pada Model

Tabel 1. Distribusi Berat LWT+DWT Kapal

Item Name	Quantity	Unit	Limit Masa tonne	Total Masa tonne	Limit Volume m ³	Total Volume m ³	Long Arm m	Atl Limit m	Fwd Limit m	Trans Arm m	Vert Arm m
101-1	1		25.200	25.200			1.750	0.000	4.200		0.000
2	1-2	1	29.910	29.910			3.300	2.200	4.400		0.000
3	2-3	1	34.440	34.440			5.500	4.400	6.600		0.000
4	2+4	1	35.960	35.960			7.700	6.600	8.800		0.000
4	4-5	1	36.100	36.100			9.900	8.800	11.000		0.000
6	6-6	1	36.800	36.800			12.100	11.000	13.200		0.000
7	6+7	1	37.430	37.430			14.300	13.200	15.400		0.000
8	7-8	1	40.020	40.020			16.500	15.400	17.600		0.000
9	8-9	1	46.210	46.210			18.700	17.600	19.800		0.000
10	9+10	1	51.260	51.260			20.900	19.800	22.000		0.000
11	10+11	1	55.660	55.660			23.100	22.000	24.200		0.000
12	11+12	1	58.120	58.120			25.300	24.200	26.400		0.000
13	12+13	1	59.620	59.620			27.500	26.400	28.600		0.000
14	13+14	1	59.838	59.838			29.700	28.600	30.800		0.000
15	14+15	1	56.110	56.110			31.900	30.800	33.000		0.000
16	15+16	1	56.115	56.115			34.100	33.000	35.200		0.000
17	16+17	1	56.115	56.115			36.300	35.200	37.400		0.000
18	17+18	1	56.115	56.115			38.500	37.400	39.600		0.000
19	18+19	1	62.730	62.730			40.700	39.600	41.800		0.000
20	19+20	1	62.730	62.730			42.900	41.800	44.000		0.000
21	20+21	1	62.730	62.730			45.100	44.000	46.200		0.000
22	21+22	1	62.730	62.730			47.300	46.200	48.400		0.000
23	22+23	1	62.730	62.730			49.500	48.400	50.600		0.000
24	23+24	1	44.340	44.340			51.700	50.600	52.800		0.000
25	24+25	1	44.340	44.340			53.900	52.800	55.000		0.000
26	25+26	1	42.340	42.340			56.100	55.000	57.200		0.000
27	26+27	1	41.340	41.340			58.300	57.200	59.400		0.000
28	27+28	1	41.340	41.340			60.500	59.400	61.600		0.000
29	28+29	1	41.340	41.340			62.700	61.600	63.800		0.000
30	29+30	1	41.340	41.340			64.900	63.800	66.000		0.000
31	30+31	1	41.340	41.340			67.100	66.000	68.200		0.000
32	31+32	1	41.340	41.340			69.300	68.200	70.400		0.000
33	32+33	1	21.110	21.110			71.500	70.400	72.600		0.000
34	33+34	1	19.670	19.670			73.700	72.600	74.800		0.000
35	34+35	1	12.710	12.710			75.900	74.800	77.000		0.000
36	35+36	1	12.380	12.380			78.100	77.000	79.200		0.000
37	36+37	1	11.960	11.960			80.300	79.200	81.400		0.000
38	37+38	1	9.650	9.650			82.500	81.400	83.600		0.000
39	38+39	1	5.910	5.910			84.700	83.600	85.800		0.000
40	39+FP	1	5.950	5.950			86.900	85.800	88.000		0.000
41	Total Loadcase			1610.000	0.000	0.000	28.947			6.000	0.000

Permodelan yang dibuat dibagi menjadi 40 stasion. Hal ini, bertujuan untuk mendistribusikan beban kapal yang sudah ada secara menyeluruh. Untuk mendapatkan nilai momen lengkung pada setiap kondisi, dengan memasukan nilai tinggi gelombang. Sesuai dengan batasan permasalahan dalam analisa perencanaan yang dimodelkan hanya struktur pada bagian *parallel middle body* pada stasion 14 - 27, pada saat kondisi kapal dalam muatan penuh (*full load*). Dimana, dapat dilihat pada tabel 1. Dapat diketahui bahwa berat total kapal sudah sesuai dengan displacement keseluruhan sebesar 1610 Ton. Pembagian stasion sudah termasuk pembebanan total LWT+DWT sesuai hasil perhitungan dari kekuatan memanjang

dan hasil distribusi beban kapal dari *maxsurf stability* pada model yang akan dianalisa. Setelah itu, panjang stasion yang akan dianalisa dibagi menjadi 20 frame untuk permodelan yang akan dibuat di patran agar sesuai dengan pembebanan model yang akan dianalisa. Pertimbangan yang diambil adalah bagian paling rawan pada ruang muat kapal yang terletak di bagian tengah kapal, Sedangkan, pertimbangan lainnya adalah untuk mempermudah pembuatan model kapal.

2.3 Pembuatan Model Berbasis Metode Elemen Hingga

Kapal Ternak tipe Katamaran dimodelkan berdasarkan metode elemen hingga dengan bantuan *software* yaitu *MSC Nastran & Patran*. Tahap awal pembuatan *geometry* yang akan dianalisa. Langkah selanjutnya proses meshing yang merupakan suatu proses dimana model kapal dibagi menjadi beberapa elemen-elemen kecil yang saling terhubung atau satu sama lain. Semakin kecil hasil pembagian elemen yang dilakukan pada proses meshing[6]. Maka, analisa yang akan dilakukan semakin bagus, sesuai dengan konsep dasar metode elemen hingga. Setelah proses meshing dilakukan, pendefinisian curve menjadi profil atau beam dan surface menjadi pelat atau shell. Proses selanjutnya menetapkan kondisi batas/*Boundary condition* pada model yang akan dianalisa dengan perlakuan model dalam keadaan diam dan diberi beban dari internal atau eksternal. Pada Tahap analisa input momen dari hasil *maxsurf* untuk mengetahui besar tegangan yang terjadi.

Pada penelitian ini, penulis melakukan analisa *linear static*, yaitu analisa yang berfungsi untuk mengetahui kondisi sebuah desain struktur terhadap pembebanan yang bersifat linear/konstan, tidak berubah terhadap waktu[7].

2.4 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Undip di Jln. Prof. Soedarto SH, Semarang, Jawa Tengah.

2.5 Teknik Pengolahan Data

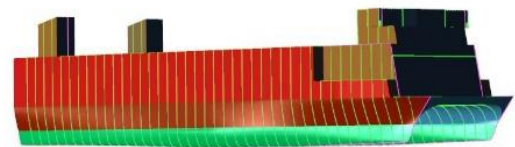
Alat yang digunakan untuk membantu dalam penelitian ini adalah sebuah laptop dengan *spesifikasi Operating system Windows 8.1 Pro 64-bit, processor Intel® Core™ i3-2370M, memory 10240MB RAM, VGA NVIDIA GEFORCE 610M 2GB*.

Serta software yang digunakan sebagai alat untuk melakukan proses permodelan, perhitungan dan analisa yaitu, *AutoCAD, Maxsurf dan Msc. Nastran & Patran*.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Model kapal

Data model kapal yang didapatkan dari penelitian sebelumnya.



Gambar 1. Permodelan 3D menggunakan *Maxsurf*

3.2 Perhitungan Beban Internal

Distribusi beban yang telah ditentukan berdasarkan hasil perhitungan kekuatan memanjang dan hasil dari *maxsurf stability*, berdasarkan data pembebanan yang pada tabel 1. Selanjutnya, stasion tersebut dibagi menjadi 20 frame yang mewakili pembebanan pada struktur, tujuannya untuk mendapatkan berat yang sesuai pada model *maxsurf stability* dengan model yang ada pada *Patran*. Berdasarkan perhitungan dari *Lloyd Register (LR) : Rules and Regulation for the classification of special service craft*.

Jarak gading dari kamar mesin sampai sekat tubrukan ditentukan menurut rumus :

$$\begin{aligned} a &= \frac{Loa}{500} + 0,48 \\ &= \frac{95,76}{500} + 0,48 \\ &= 668 \text{ mm} \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana, *Loa* adalah Panjang keseluruhan kapal. Sehingga jarak gading di depan sekat tubrukan hingga ceruk haluan jarak yang digunakan 668 mm.

Tahap berikutnya menentukan berat pada frame menggunakan perhitungan interpolasi. Dimana, jarak AP diukur sampai dengan stasion pada model yang akan dianalisa dan dibagi sesuai dengan jarak antar frame.

Tabel 2. Distribusi Berat pada Frame

No	Pembebanan	Berat (ton)
1	Frame 72	17.03
2	Frame 73	17.03

3	Frame 74	33.63
4	Frame 75	27.24
5	Frame 76	20.84
6	Frame 77	21.39
7	Frame 78	27.14
8	Frame 79	32.95
9	Frame 80	19.06
10	Frame 81	19.06
11	Frame 82	19.06
12	Frame 83	19.06
13	Frame 84	19.06
14	Frame 85	19.06
15	Frame 86	19.06
16	Frame 87	13.58
17	Frame 88	15.56
18	Frame 89	17.54
19	Frame 90	16.30
20	Frame 91	15.07
Total		408.8

Jumlah berat perhitungan harus sesuai dengan berat pada model Patran.

Group	CG(CD 0)	CO(CD 0)	I-Principal	Radii of Gyr.	Mass	Volume
1-default_group	6.051E+003	6.051E+003	4.529E+010	1.003E+004	4.607E+002	2.811E+010
2	3.258E+003	3.258E+003	4.189E+010	1.014E+004		
3	6.832E+006	6.832E+006	7.735E+009	4.307E+003		

Gambar 2. Berat pada Model

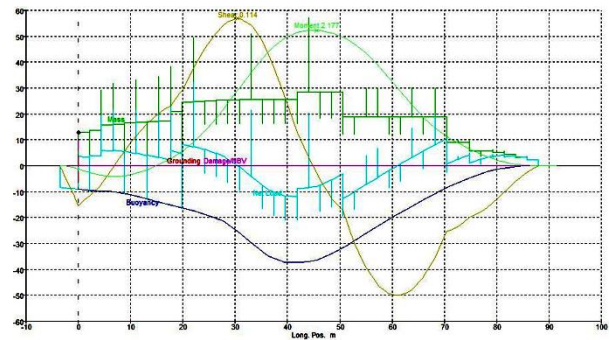
Tabel 3. Validasi Berat

	Perhitungan	Model	Keterangan
Massa	408.8 Ton	408.7 Ton	Memenuhi

Berdasarkan dari tabel 3. Maka, model memenuhi kriteria untuk dilakukan analisa selanjutnya.

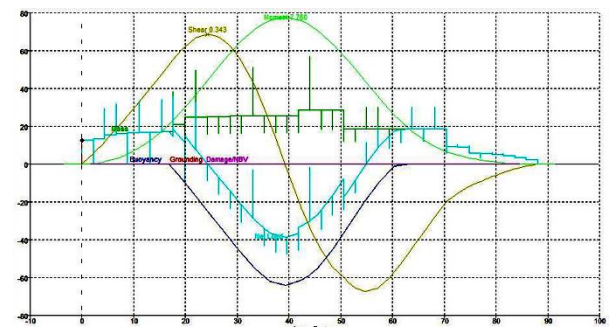
3.3 Perhitungan Momen dengan Analisa Software *Maxsurf Stability*

Berdasarkan model 3D yang telah dibagi menjadi 40 stasion, dengan mendistribusikan pembebanan pada setiap stasion secara menyeluruh. Kemudian, hasil perhitungan distribusi beban diinput pada tabel *loadcase* dari menu *input loadcase* pada software *maxsurf stability*. Analisa momen dengan *maxsurf stability* dilakukan dengan cara memasukkan nilai tertinggi dari gelombang yang ada pada wilayah perairan pada masing – masing kondisi kapal yang dianalisa. Tinggi gelombang rata – rata yang mencapai 4 meter untuk perairan Indonesia.



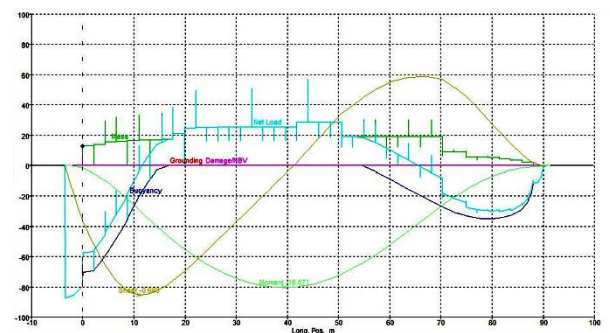
Gambar 3. Momen Maksimal Kondisi Air Tenang

Momen maksimal yang terjadi pada saat kondisi saat air tenang adalah 2,177 ton.m atau $2.134908e+10$ N.mm.



Gambar 4. Momen Maksimal Kondisi *Hogging*

Momen maksimal yang terjadi pada saat kondisi *Hogging* adalah 7,760 ton.m atau $7.60996e+10$ N.mm.



Gambar 5. Momen Maksimal Kondisi *Sagging*

Momen maksimal yang terjadi pada saat kondisi *sagging* adalah -16,071 ton.m atau $-1.576027e+11$ N.mm.

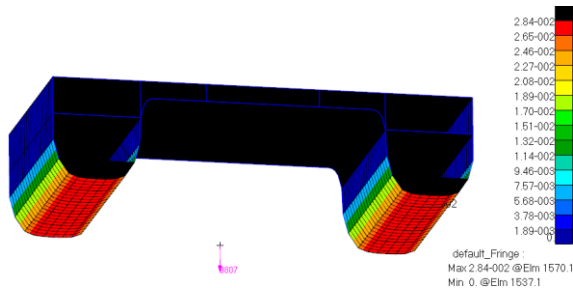
3.4 Perhitungan Beban Eksternal

Perhitungan besar beban eksternal akibat tekanan hidrostatik diperlukan untuk mengetahui besarnya tekanan akibat beban eksternal pada permodelan yang telah dibuat, dengan mengasumsikan aliran atau tekanan yang mengenai antara bagian tengah lambung (*demihull*) pada

model dianggap statis. Maka, persamaan yang dapat digunakan adalah:

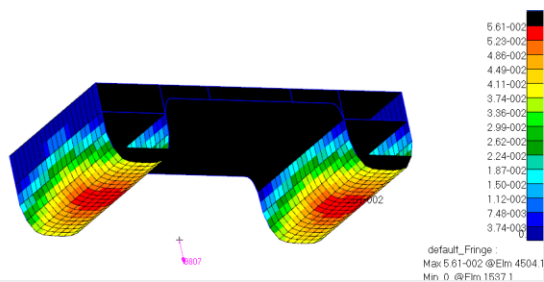
$$P = \rho gh \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

Dimana, ρ adalah massa jenis air laut ($1.025 \times 10^{-9} \text{ ton/mm}^3$), g adalah percepatan gravitasi bumi (9807 mm/s^2) dan h adalah bagian *bottom* dan *side* kapal yang tercelup air (mm).



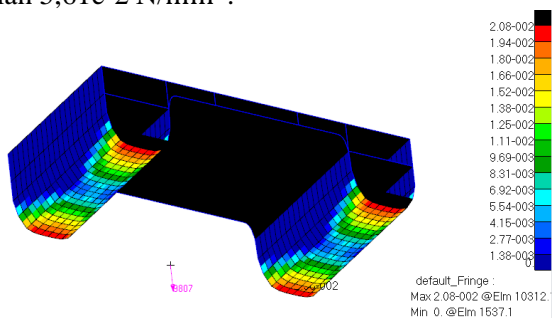
Gambar 6. Tekanan Hidrostatik Kondisi Air Tenang

Tekanan hidrostatik maksimal yang terjadi pada saat kondisi saat air tenang dengan tinggi gelombang mencapai 2,8 m adalah $2,84 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$.



Gambar 7. Tekanan Hidrostatik Kondisi *Hogging*

Tekanan hidrostatik maksimal yang terjadi pada saat kondisi *Hogging* dengan tinggi gelombang maksimum pada tengah kapal 5,1m adalah $5,61 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$.



Gambar 8. Tekanan Hidrostatik Kondisi *Sagging*

Tekanan hidrostatik maksimal yang terjadi pada saat kondisi *Sagging* dengan ketinggian gelombang maksimum pada ujung kapal 5,1m adalah $2,08 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$.

3.5 Penentuan Kondisi Batas

Boundary Condition yang digunakan menurut aturan *Korean Register of Shipping : Rules for the Classification of Steel Ships* [8]. Untuk menentukan bentuk tumpuan dari objek yang akan dianalisa. Penentuan *Boundary Condition* dilakukan sesuai tabel berikut:

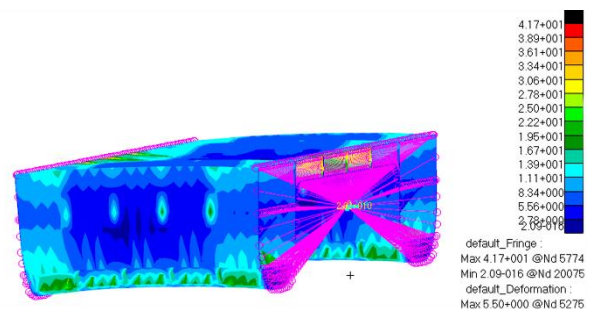
Tabel 4. Kondisi Batas

Kondisi	Translasi		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
Titik independen pada ujung belakang	-	Fix	Fix
Titik independen pada ujung depan	Fix	Fix	Fix

Kondisi	Rotasi		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
Titik independen pada ujung belakang	Fix	-	-
Titik independen pada ujung depan	Fix	-	-

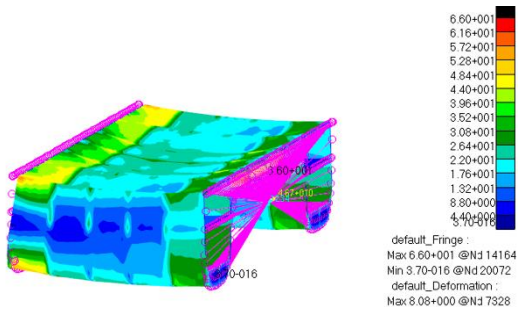
3.6 Analisa Tegangan Menggunakan MSC Nastran & Patran

Analisa menggunakan MSC Nastran & Patran dengan permodelan struktur *parallel middle body*, dilakukan untuk mendapatkan hasil respon struktur berupa nilai tegangan (*stress*) dengan menggunakan hasil momen sisa dari *Maxsurf Stability*. Selanjutnya, hasil analisa respon struktur yang terjadi dapat dilihat pada gambar 9.



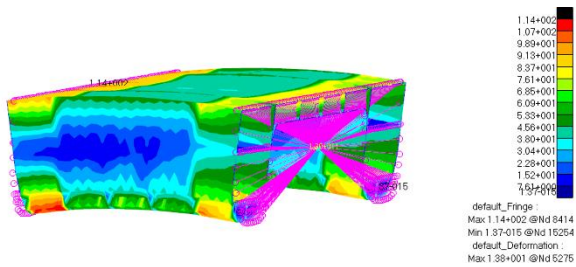
Gambar 9. Tegangan pada kondisi air tenang

Pada kondisi air tenang, tegangan maksimum (*von misses*) sebesar 41,7 MPa pada node @5774 dengan deformasi maksimal 5,5 mm.



Gambar 10. Tegangan pada kondisi *Sagging*

Pada kondisi *Sagging*, tegangan maksimum (*von misses*) sebesar 66 MPa pada node @14164 dengan deformasi maksimal 8,08 mm.



Gambar 11. Tegangan pada kondisi *Hogging*

Pada kondisi *Hogging*, tegangan maksimum (*von misses*) sebesar 114 MPa pada node @8414 dengan deformasi maksimal 13,8 mm.

Hasil analisa didapatkan tegangan maksimum pada tiap kondisi pembebanan gelombang. Hasil dari analisa tegangan maksimum dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisa Tegangan dan Deformasi Maksimum

Kondisi	Tegangan (MPa)	Deformasi (mm)
Air Tenang	41,7	5,5
<i>Sagging</i>	66	8,08
<i>Hogging</i>	114	13,8

Berdasarkan Tabel 4. Hasil Analisa yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa tegangan dan deformasi maksimal pada saat kondisi hogging, didapat nilai tegangan sebesar 114 MPa dikarenakan momen maksimum yang terjadi pada saat *Hogging* dikarenakan bagian pembebanan paling berat berada di ruang muat atau tengah kapal, deformasi sebesar 13,8 mm dikarenakan semakin besar momen yang terjadi maka semakin besar pula perpindahan node atau deformasi.

3.7 Pengecekan Hasil Analisa

3.7.1 Perhitungan Nilai *Midship Section Modulus*

Berdasarkan *Rules BKI 2016 Vol. II Section 5 C.2.1*, Tentang nilai minimum *midship section modulus* yang digunakan dalam perhitungan kekuatan memanjang[9].

Maka, nilai dapat menggunakan rumus :

$$W_{min} = k \cdot c_0 \cdot L^2 \cdot B (C_b + 0.7) 10^{-6} \quad (3)$$

$$W > W_{min} \quad (4)$$

Dimana, W_{min} adalah nilai modulus minimum (m^3), k adalah faktor bahan, c_0 koefisien gelombang, L adalah Panjang kapal (m), B adalah lebar kapal (m), dan C_b adalah koefisien blok kapal.

Modulus dihitung terhadap geladak (W_{deck}) dan bottom (W_{bottom}).

Hasil perhitungan modulus kapal ternak katamaran disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Modulus kapal

Posisi	Modulus	Kriteria BKI	Keterangan
Wdeck	0,888 m ³	0,587 m ³	Memenuhi
Wbottom	1,105 m ³	0,587 m ³	Memenuhi

3.7.2 Tegangan Izin

Tegangan izin bertujuan untuk memprediksi besarnya tegangan (*stress*) yang terjadi pada struktur tidak melebihi tegangan (*stress*) batas. Menurut aturan dari *Lloyd Register (LR) : Rules and Regulation for the classification of special service craft, Part 6 : Multi Hull Construction in steel*[10]. Perhitungan tegangan izin maksimal dirumuskan pada persamaan :

$$\sigma_p = f_{ogh} x \sigma_s \quad (5)$$

Dimana σ_p adalah tegangan ijin dalam MPa, σ_s , adalah minimum *yield strength* dari material, f_{ogh} adalah koefisien batas tegangan lengkung badan kapal. Untuk menentukan persamaan f_{ogh} dapat dicari berdasarkan Tabel 7.

Tabel 7. Nilai f_{ogH}

Operational mode of craft	f_{ogH}
$\Gamma \geq 3.0$ atau $\Delta \leq 0.004 (L_R B)^{1.5}$	$0,80 \eta_{HTS}$
$\Gamma < 3.0$ atau $\Delta > 0.004 (L_R B)^{1.5}$	$0,72 \eta_{HTS}$

Dimana :

$$\begin{aligned} \Gamma &= \text{Taylor quotient} \\ &= \frac{v}{\sqrt{L_{wl}}} \\ \Delta &= \text{Displacement (Ton)} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 6. Didapatkan persamaan:

$$f_{ogh} = 0,75 \eta_{HTS} \quad (6)$$

Dimana, nilai η_{HTS} didapat dari tabel 6 berdasarkan nilai dari σ_s .

Tabel 8. Nilai η_{HTS}

σ_s	η_{HTS}
235	1
265	0,964
315	0,956
340	0,934
355	0,919

Berdasarkan persamaan, dan tabel 8. Didapatkan nilai dari tegangan izin sebesar 184,125 MPa.

Tabel 9. Hasil Analisa Tegangan Maksimum

Kondisi	Tegangan (MPa)	Kriteria LR (MPa)	Keterangan
Air Tenang	41,7	184,125	Memenuhi
Sagging	66	184,125	Memenuhi
Hogging	114	184,125	Memenuhi

Tabel 9. Menunjukkan bahwa Nilai Tegangan untuk setiap kondisi Air Tenang, Sagging dan Hogging memenuhi standar dari hasil kriteria Llyod Register(LR) atau $W > W_{min}$.

3.7.3 Perhitungan Deformasi

Pada penelitian ini, pengecekan hasil deformasi dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan hasil dari perhitungan defleksi software dan perhitungan defleksi manual. Berdasarkan rumus perhitungan manual Mekanika Teknik[11], dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$v(\max) = PL^3/3EI \quad (7)$$

Dimana : $v(\max)$ = Defleksi maksimum

P = Gaya (N)

L = Panjang (mm)

E = Modulus Elastisitas (N/mm²)

I = Momen Inersia (mm⁴)

Tabel 8. Nilai P, E, L dan I

P (N)	E (N/mm ²)	L (mm)	I (mm ⁴)
$4,62 \times 10^6$	$2,1 \times 10^5$	13360	$3,192 \times 10^{12}$

$$v(\max) = PL^3/3EI$$

$$v(\max) = \frac{4,62 \times 10^6 \times 2,38 \times 10^{12}}{3 \times 2,1 \times 10^5 \times 3,192 \times 10^{12}}$$

$$v(\max) = 5,48 \text{ mm}$$

Tabel 10. Hasil Analisa Deformasi

Kondisi	Perhitungan Manual (mm)	Perhitungan Software (mm)	Keterangan
Air Tenang	5,48	5,5	Memenuhi

Nilai perhitungan manual deformasi dalam kondisi air tenang yang didapat adalah 5,48 mm. Sedangkan, deformasi yang didapat dengan perhitungan software sebesar 5,5 mm, dengan koreksi 99,63%. Jadi, kriteria hasil perhitungan software dan manual memenuhi.

3.8 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dari respon struktur akibat beban internal dan eksternal, didapatkan nilai tegangan pada setiap kondisi gelombang. Pada saat kondisi air tenang nilai tegangan maksimum sebesar 41,7 MPa, terjadi di daerah second deck dikarenakan adanya pembebanan lokal pada struktur. Pada saat kondisi Hogging nilai tegangan maksimum sebesar 114 MPa, terjadi di sekat memanjang bagian belakang pada struktur jembatan katamaran. Sementara pada pada kondisi Sagging nilai tegangan maksimum sebesar 66 MPa, terjadi di sekat memanjang bagian belakang pada struktur jembatan katamaran. Untuk itu, Perlu diperhatikan pada sambungan struktur antar dek katamaran dikarenakan terjadi tegangan maksimum pada saat kondisi Sagging dan Hogging. Bila mengacu pada tegangan izin sebesar

184,125 MPa maka kapal ternak katamaran yang dirancang telah mampu beroperasi di perairan Indonesia yang memiliki tinggi gelombang rata-rata sebesar 4 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramadhan, Akbar, "Rancang. Desain dan Konstr. Kapal Pengangkut Ternak Tipe Katamaran untuk Pelayaran Nasional". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, vol. 6, no. 4, pp. 1–13, Undip:Semarang. Oktober 2018.
- [2] E.S Oliveros, "Effect of sea transport motion on sheep welfare". Queensland, 2014.
- [3] AMSA, "Marine Order 43 (Cargo and cargo handling — livestock) 2006 in effect under the Navigation Act 2012 This is a compilation of Marine Order 43 (Cargo and cargo handling — livestock) 2006 prepared on 5 June 2013, taking into account modifications made b, vol. 43, no. June. 2013.
- [4] Mairahu, Thomas, "Kekuatan Struktur Konstruksi Kapal akibat Penambahan Panjang". Program Studi, Jurusan Teknik Perkapalan, Unpatti.
- [5] Junaveva, Alvin Nadiyahs. "Analisa Kekuatan Cross Deck Terhadap Perubahan Bentuk Variasi Haunch Pada Kapal Ikan Katamaran Menggunakan Metode Elemen Hingga". vol. 5, no 1, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, Undip:Semarang. Januari 2017.
- [6] Adibah. Alif Muski, "Analisa Perbandingan Respon Struktur Full Modeling dengan Parallel Middle Body pada Kapal Chemical Oil Tanker dan Cargo ECC di perairan Indonesia dan Atlantik Utara," J.Tek. Perkapalan, vol. 5, no 4, 2019
- [7] R. Dimas, "Analisa Perbandingan Respon Struktur Kapal Chemical Oil Tanker di perairan Indonesia dan Atlantik Utara," J.Tek. Perkapalan, vol. 5, no 4, 2017
- [8] Korean Register Of Shipping, "Rules for the Classification of Steel Ships" 2009.
- [9] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. "Rules for Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume II: Rules for Hull Edition," Jakarta, 2016.
- [10] Lloyds Register, "Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft (July 2011)," no. July, 2011.
- [11] Popov, E.P. 1996, "Mekanika Teknik". Erlangga. Jakarta, 1996.