

Analisa Kekuatan Struktur pada Sambungan *Deck* dengan Lambung Bagian Dalam pada KMP. Catamaran dengan Bahan *Aluminium Alloy* Akibat Pengaruh Gerak *Heave Pitch* dengan Metode Elemen Hingga

Norman Yasser Arrazi¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾, Wilma Amiruddin¹⁾

¹⁾Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Email: arrazi.yasser@gmail.com

Abstrak

Kapal dengan desain katamaran (*multi hull*) merupakan inovasi untuk kemajuan sarana transportasi laut dalam rangka memajukan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kapal penumpang katamaran memiliki pembebanan pada seluruh bagian kapal. Tujuan tugas akhir ini membuktikan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh kapal ini saat terkena beban gelombang dengan variasi arah gelombang 0° , 90° , dan 180° , serta kondisi beban penuh dan kosong, memenuhi tegangan ijin standar BKI. Kapal katamaran mempunyai kombinasi beban gaya hidrostatis, hidrodinamis (gelombang), beban penuh, dan beban kosong yang menyebabkan *bending moment* dan gaya geser. Selanjutnya untuk mengetahui tegangan Von Mises maksimum yang terjadi dilakukan analisa dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH). Didapatkan *bending moment* terbesar terjadi pada kondisi kapal muatan 10% dengan arah datang gelombang 180° sebesar 140621,29 ton.m pada station 10 sehingga terjadi tegangan maksimum sebesar 139 MPa untuk kekuatan melintang kapal dan 224 MPa untuk kekuatan memanjang. Sedangkan *bending moment* terkecil terjadi pada kondisi kapal muatan 100% dengan arah datang gelombang 0° sebesar 10710,93 ton.m sehingga terjadi tegangan maksimum sebesar 28,3 MPa untuk kekuatan melintang kapal dan 90 MPa untuk kekuatan memanjang. Dari hasil analisa tegangan untuk kekuatan melintang dan memanjang memenuhi standar BKI.

Kata kunci : Katamaran, Tegangan, Beban Gelombang, MEH, Von Mises, *Bending Moment*

Abstract

Ship with a catamaran design (multi hull) is an innovation for the advancement of marine transportation in order to advance science and technology. Catamaran passenger ships have loading on all parts of the ship. The purpose of this thesis proves that the voltage generated by this vessel when exposed to the wave load variation wave direction 0° , 90° , and 180° , as well as under full load and empty, meet the standard allowable stress BKI. Catamarans have load combinations hydrostatic force, hydrodynamic (waves), full load and empty load that causes bending moments and shear forces. Furthermore, to determine the maximum Von Mises stress occurs analysis using the Finite Element Method (FEM). Obtained the largest bending moment occurs in conditions of cargo ships 10% by 180° wave direction of 140621.29 ton.m at station 10 resulting in maximum stress of 139 MPa for transverse force ships and 224 MPa for longitudinal strength. While the smallest bending moment occurs in conditions of 100% cargo ships with 0° wave direction at 10710.93 ton.m resulting in maximum stress of 28.3 MPa for transverse strength of the ship and 90 MPa for longitudinal strength is analyzed and gain the maximum voltage for transverse strength. From the results of stress analysis for transverse and longitudinal strength BKI standards

Keywords : *Catamaran, Stress, Wave Load, FEM, Von Mises, Bending Moment*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu pesat mendorong berkembangnya seluruh sarana kehidupan manusia, tidak terkecuali sarana transportasi laut. Salah satu diantaranya adalah dengan mendesain kapal dengan *multi hull*, sebagai contoh kapal berlambung dua (*catamaran*). Fungsinya sama

sebagai alat transportasi laut seperti kapal *mono hull* akan tetapi prinsipnya menggunakan dua lambung yang mana akan memberikan stabilitas yang lebih baik dan kemampuan *manouvering* yang lebih handal. Agar memenuhi tujuan tersebut kapal harus memenuhi beberapa katakteristik dasar, yaitu mengapung dalam posisi tegak lurus, bergerak dengan kecepatan

sesuai rancangan awal, cukup kuat untuk menahan beban yang dialami akibat cuaca yang buruk, dan mampu berjalan pada suatu lintasan lurus serta *manouver* di laut lepas seperti halnya dalam perairan terbatas[1]. Kapal yang diteliti pada tugas akhir ini merupakan kapal dengan ukuran kecil sehingga kurang adanya aturan khusus mengenai kapal tipe *catamaran* yang merupakan tipe *special craft* yang mengatur dari segi kekuatan struktural kapal sehingga dari segi kekuatan kurang diperhatikan. Begitu pula dengan peraturan yang dibuat oleh Biro Klasifikasi Indonesia dimana peraturan untuk kapal berbahan dasar alumunium belum sepenuhnya dibuat khusus untuk kapal alumunium. Sebagian besar peraturan yang dibuat masih berdasarkan kapal berbahan baja. Oleh karena itu aspek kekuatan yang ditinjau pada peraturan BKI hanya untuk kapal berbahan dasar baja.

Dalam Bhattacharyya (1978), disebutkan bahwa khusus untuk *catamaran* atau kapal tipe *multi hull*, kombinasi antar gaya hidrostatis dan hidrodinamis akan menyebabkan *bending moment* yang signifikan pada penampang transversal[2]. Pada tugas akhir ini kajian yang akan dilakukan adalah pengaruh gerakan *catamaran* yang ditimbulkan gelombang terhadap struktur pada daerah pembebanan tertentu khususnya konstruksi hubungan antara *deck* dan lambung bagian dalam secara melintang (*cross deck*). Struktur daerah *center line* yang khususnya konstruksi yang menghubungkan antara *deck* dengan struktur dalam lambung merupakan bagian struktur yang sangat rentan terhadap terjangan gelombang.

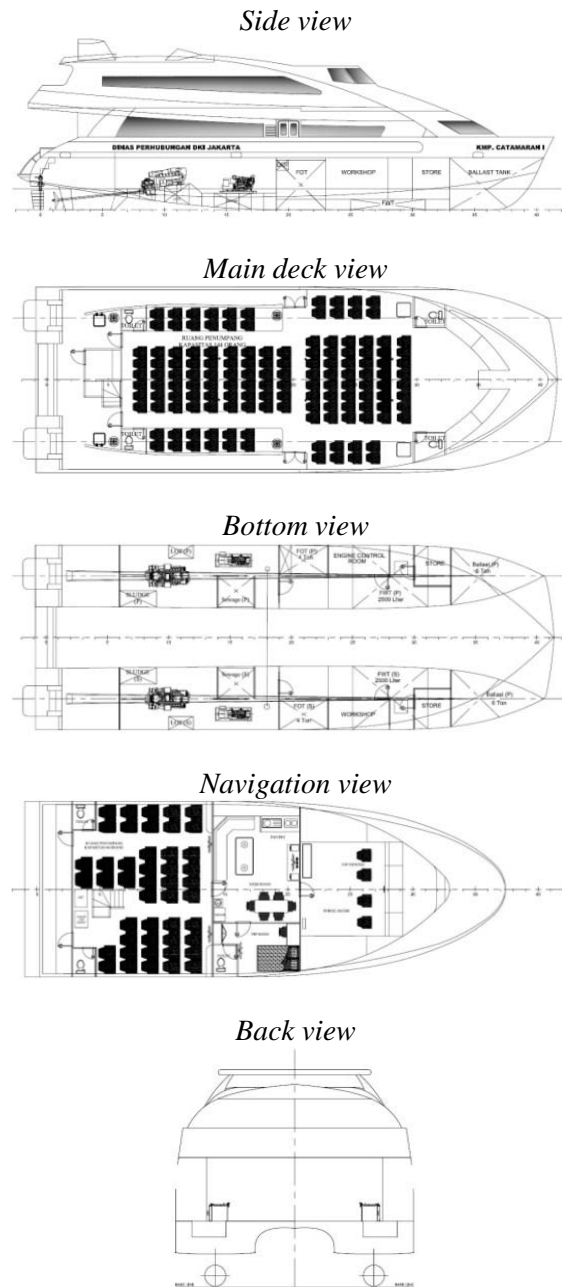
Pembebanan gelombang yang digunakan merupakan gelombang regular dengan mengambil moda gerak kebebasan yang digabungkan. Dimana moda gerak kebebasan yang dibahas adalah gerakan yang paling dominan untuk studi kasus ini, yaitu *heaving* dan *pitching*. Untuk gerakan *heaving* dan *pitching* dapat digabungkan menjadi satu gerakan *couple*, biasa disebut *couple heave-pitch*.

Studi kasus pada tugas akhir ini mengambil kapal penumpang dengan data-data *principal dimension* dan *General Arrangement* yang diperoleh dari *basic design* PT. Sanur Marindo Shipyard, sebagai berikut :

LOA	= 25,95 m
LPP	= 23,45 m
B _m	= 9,90 m

B _H	= 2,75 m
T	= 1,18 m
V _s	= 20 knot
V _{max}	= 25 knot
Passanger	= 190 persons
Crew	= 10 persons

Dengan gambar *General Arrangement* sebagai berikut.



Gambar 1. *General Arrangement* kapal penumpang catamaran

Dengan menggunakan kondisi perairan Indonesia, perairan diambil yang adalah wilayah perairan Kepulauan Seribu. Kondisi perairan yang digunakan didapatkan dari tiga

arah datang gelombang, yaitu arah *head seas* (0°), *beam seas* (90°) dan *following seas* (180°).

2. Dasar Teori

2.1. Gerakan Kapal

Dasar utama dari persamaan gerak yang digunakan adalah respon frekuensi linier terhadap eksitasi harmonik. Eksitasi yang dimaksud adalah gangguan yang disebabkan oleh gaya gelombang, sedangkan gaya pengembali berupa gaya inersia akibat adanya massa bentuk dan massa hidrodinamika (*added mass*), gaya damping *wavemaking*, dan gaya pengembali akibat adanya *bouyancy*. Dengan kata lain gerakan heaving-pitching couple merupakan gerakan gabungan dari tiap gerakan yaitu heaving dan pitching[3].

Persamaan umum gerakan *Heaving* :

$$az + bz + cz = F_0 \cos \omega_e t$$

Persamaan umum gerakan *Pitching* :

$$d\theta + e\theta + h\theta = M_0 \cos \omega_e t$$

Sehingga penyelesaian umum persamaan gerak kopel *Heave-Pitch* untuk kapal dapat ditulis sebagai berikut (Battacharya,1978) :

$$(m+a_z)z+bz+cz+d\theta+e\theta+h\theta = F(t)$$

Dimana :

$$m = \int m_n d\xi$$

$$a_z = \int a_n d\xi$$

$$b = \int b_n d\xi$$

Dengan asumsi bahwa $u \int \frac{da_n}{d\xi} d\xi = 0$, maka :

$$c = \int c_n d\xi$$

$$d = - \int a_n \xi d\xi$$

$$\int m_n \xi d\xi = 0$$

Jika (dengan kata lain momen massa total terhadap CG bernilai 0), maka :

$$e = - \int b_n \xi d\xi - 2u \int a_n d\xi - u \int \frac{da_n}{d\xi} \xi d\xi$$

$$= - \int b_n \xi d\xi - u a_z = 0$$

dengan

$$-a_z = \int a_n d\xi = u \int \frac{da_n}{d\xi} \xi d\xi$$

maka didapatkan :

$$h = - \int c_n \xi d\xi + u \int b_n d\xi = \int c_n \xi d\xi - u b$$

Dimana : m = Massa kapal (ton)

a_z = Massa tambah kapal (ton)

a = Koefisien *inertial force*

b = Koefisien *damping force*

c = Koefisien *restoring force*

d = Koefisien *inertial moment*

e = Koefisien *damping moment*

h = Koefisien *restoring moment*

2.2. Response Amplitude Operators (RAO)

RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Dapat dinyatakan dengan bentuk matematis yaitu (ζ respon / ζ gelombang). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO juga disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur[4]. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut :

$$Response(\omega) = (RAO) z_a(\omega)$$

dengan :

z_a = amplitudo gelombang (m)

2.3. Distribusi Pembebanan Muatan dan Gaya Keatas

Dalam perhitungan *bending moment* memanjang kapal yang dibutuhkan pertama adalah menentukan penyebaran momen memanjang kapal dan gaya berat sepanjang kapal. Distribusi berat ini merupakan sebagian pembebanan yang akan menimbulkan *bending moment*, adalah hasil penjumlahan dan penyebaran berat kapal kosong (konstruksi kapal, peralatan dan perlengkapan) dengan perbekalan, crew, penumpang, persediaan bahan bakar, minyak pelumas, air tawar, dan lain sebagainya. Dengan kata lain, hal ini merupakan berat total pada saat kapal berlayar.

Penyebaran berat kapal dihitung berdasarkan sistem konstruksi dan tipe kapal yang akan dibangun. Secara grafis, distribusi berat kapal beserta segala macam muatan yang diangkut adalah $W(x)$. Karena berat muatan merupakan bagian terbesar dari kumpulan berat yang ada pada kapal, maka penyusunan muatan sangat berpengaruh terhadap sistem pembebanan pada kapal[5].

Displacement adalah gaya tekan keatas merupakan reaksi massa air terhadap kapal. Dimana harga *displacement* tersebut sama dengan massa total kapal, demikian juga resultan gaya tekan keatas tersebut harus tepat satu garis vertikal dengan resultan gaya berat.

Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan *displacement* yang dapat digunakan untuk mendapatkan gaya *bouyancy*.

Seperti diketahui bahwa *displacement* kapal dapat diperoleh dari integrasi ke arah memanjang dari massa-massa air sepanjang kapal.

$$\Delta = \int_0^L m(x) dx$$

Total *Bouyancy* = $\Delta \cdot g$ (N)

dimana : $m(x)$ = massa bagian air (ton/m)

g = gravitasi (m/s^2)

dan dengan massa tiap bagian adalah :

$$m(x) = \rho \cdot A(x)$$

maka, distribusi gaya tekan keatas per satuan panjang adalah :

$$a(x) = \rho \cdot g \cdot A(x)$$

dengan : ρ = massa jenis air ($1,025 \text{ ton}/\text{m}^3$)

$A(x)$ = Luas *station* pada potongan sejauh x dari AP (m^2)

2.4. Shear force

Salah satu parameter yang paling penting dalam membangun kapal adalah *longitudinal strength* (kekuatan memanjang)[6]. Kekuatan kapal ini berhubungan pada kemampuan struktur kapal untuk bertahan oleh beban yang ditimbulkannya, baik berupa beban internal maupun eksternal, yang diperkirakan oleh adanya pengaruh tekanan memanjang pada lambung kapal. Parameter lainnya adalah *shear stress*.

Jika lengkung diagram gaya berat kita kurangi dengan lengkung diagram gaya tekan keatas, akan diperoleh lengkung penyebaran beban sepanjang kapal.

$$Vx = \int_0^x W dx = \int_0^x w dx - \int_0^x b dx$$

dengan :

Vx = *shear force* pada jarak x dari *bow/stern* (ton)

W = beban struktur per satuan panjang (ton/m)

b = *buoyancy* per satuan panjang (ton/m)

dan beban gaya geser $f(x)$ ini merupakan turunan kedua dari momen lengkung:

$$f(x) = \frac{d^2 M}{dx^2}$$

Sehingga dengan persamaan sebagai berikut, didapatkan *Shear force* dan *Moment bending*.

$$V(x) = \int_0^x f(x) dx$$

Sehingga didapatkan $V(x) = \int_0^x f(x) dx$

$$M(x) = \int_0^x V(x) dx$$

Sehingga didapatkan $M(x) = 1/2 \cdot l^2 \cdot \sum f(x)$

2.5. Bending moment

Untuk Gelombang yang mengenai kapal dirumuskan:

$$M = M_{sw} + M_w$$

Wave bending moment akibat gerakan *heave* dan *pitch* dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$M_w = M_\zeta + M_z + M_\theta$$

Dimana,

M_ζ = *bending moment* yang dihasilkan profil gelombang.

M_z = *bending moment* yang dihasilkan gerak *heaving*.

M_θ = *bending moment* yang dihasilkan gerak *pitching*.

2.6. Bending moment di Gelombang Regular (strip Theory)

Perhitungan untuk *bending moment* di gelombang regular adalah :

- Pembebanan akibat dari distribusi tidak merata dari berat dan gaya *bouyancy* di air tenang $\frac{df_x}{dx}$. Beban ini di abaikan dalam perhitungan ini. Hanya gaya hidrodinamis dan *moment* karena gelombang di laut yang sebenarnya diperhitungkan, *static moment* di tambahkan untuk *bending moment* dalam kaitanya penentuan total *bending moment*. Sebagai catatan. Namun beban ini yang diabaikan dalam perhitungan berbeda pada kapal yang memiliki kecepatan dan yang diam. Semenjak gelombang dengan besar yang tetap (*steady*)
- Beban dikarenakan oleh perubahan distribusi *buoyancy* karena pola gelombang dan juga karena *heaving-pitching couple*.

$$\frac{df_b}{dx} = -c_n z_r = \rho g B_n (\varepsilon - \xi \theta - \zeta)$$

Dimana : $c_n = \rho \cdot g \cdot B_n$

- Beban akibat efek *smith* yakni efek dari tekanan tinggi dari gelombang

$$\begin{aligned} \frac{df_c}{dx} &= -c_n \zeta (1 - e^{-kz}) \\ &= -\rho g B_n \zeta (1 - e^{-kz}) \end{aligned}$$

- Beban karena kecepatan air relative dari gelombang dan gerakan kapal

$$\frac{df_d}{dx} = -b_n w_r = u \frac{da_n}{d\xi} w_r$$

$$= \left(-b_n + u \frac{da_n}{d\xi} \right) (z - \xi \theta + u \theta - \zeta e^{-kz})$$

- Pembebanan dari gaya inerti dari massa kapal m_n . Tiap panjang kapal. massa tambah dan efek inerti dari aliran air

dalam gelombang, gaya inertia berlawanan dengan arah dari percepatan dan sama dengan massa di kali percepatan[7].

$$\frac{df_e}{dx} = -m_n z_n - a_n w_r$$

$$= -m_n (z - [\xi\theta] - a) - \zeta e^{-kz}$$

$$\sum_{i=a}^e \frac{df_i}{dx} = -\frac{df}{dx} = m_n z_n + a_n w_r + b_n w_r$$

$$-u \frac{da_n}{d\xi} w_r + c_n z_r$$

Dimana : $z_r = z - \xi\theta - \zeta e^{-kz}$

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = z - \xi\theta + u\theta - \zeta e^{-kz}$$

2.7. Tegangan Von Mises

Penggabungan tegangan-tegangan utama pada suatu element merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada node tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan Von Mises (Ansys 12.0),

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0$$

Dengan :

- σ_0 = tegangan utama yang bekerja pada sumbu
- σ_x = tegangan arah sumbu x
- σ_y = tegangan arah sumbu y
- σ_z = tegangan arah sumbu z
- σ_{xy} = tegangan arah sumbu xy
- σ_{xz} = tegangan arah sumbu xz
- σ_{yz} = tegangan arah sumbu yz

3. METODOLOGI PENELITIAN

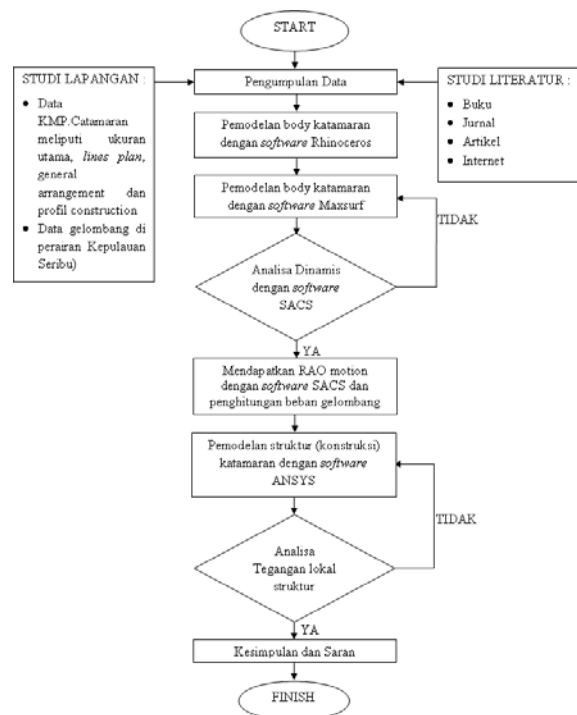
Pada tahapan awal dilakukan pengembangan metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diawali dengan mengumpulkan data-data tentang *catamaran* dan perilaku dinamis dari *catamaran*, serta mencari data-data lingkungan yang akan digunakan dalam penelitian, yaitu data di perairan Kepulauan Seribu. Untuk data kapal didapatkan *Lines plan* dan *General Arrangement* dari PT. Sanur Marindo Shipyard (2013).

Data yang didapat kemudian diolah menggunakan *software* Rhinoceros, Autocad dan Maxsurf sesuai dengan data konfigurasi *catamaran*. Kemudian body *catamaran* dimodelkan kembali dengan menggunakan *software* SACS untuk mendapat analisa dinamis kapal.

Dalam analisa dinamis, beban yang bekerja pada struktur *catamaran* dibagi menjadi dua, yaitu beban struktur itu sendiri dan beban akibat gerakan *catamaran* yang ditimbulkan gelombang. Hasil output SACS berupa RAO *motion*. Kemudian dengan spektrum respon gelombang didapatkan frekuensi tertinggi, amplitudo tertinggi dan sudut fase. Setelah itu data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan beban gelombang yang dibutuhkan untuk menganalisa kekuatan.

Analisa tegangan lokal menggunakan *software* ANSYS 12.0. Kemudian hasil analisa dibandingkan dengan properti dari material yang digunakan untuk mengetahui kekuatan struktur kapal.

Untuk lebih jelas diagram penelitian dapat dilihat pada gambar



Gambar 2. Flowchart diagram

4. ANALISA

4.1. Data

4.1.1. Data Pricipal Dimension

Tabel 1. Data Principal Dimension

Principal	Particular
<i>Loa</i>	25.95 m
<i>Lpp</i>	24.27 m
<i>B</i>	9.9 m
<i>H</i>	2.5 m
<i>T</i>	1.18 m
<i>Vmax, Vs</i>	25, 20 knot
<i>Crew</i>	10 persons
<i>Passanger</i>	190 persons

4.1.2. Data Arus dan Angin

Tabel 2. Data Arus dan Angin

Item	Besar
Wind speed	5 knot
Wave height	1.25 m

Data diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika untuk daerah perairan Kepulauan Seribu.

4.1.3. Data Hidrostatik

Tabel 3. Data Hidrostatik

Draft A Midship (m)	0.80	1.18
Displacement (Ton)	47.58	89.016
LCB	0.26	0.405
CB	0.429	0.509

Berdasarkan tabel tersebut (tabel 4.2), pada sarat maksimum (1.18 m) diharapkan design memiliki *displacement* sebesar 89.016 ton. Sedangkan untuk sarat dengan beban muatan kosong atau muatan 10% dihitung menggunakan perbandingan.

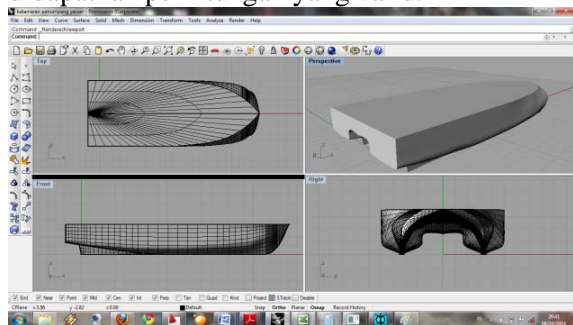
4.1.4. Data Material

Material yang akan digunakan untuk kapal penumpang katamaran ini menggunakan *Aluminium Alloy* tipe 5083-H116. Pemilihan material ini disesuaikan dengan standar dalam *ship construction* yang dibuat oleh BKI berdasarkan *requirement* dan kebutuhan kapal. Material tersebut memiliki *Tensile Yield Strength 228 MPa*, *Modulus of Elasticity 70.3 GPa*, *Density 2.66 ton/m³* dan *Elongation min. 16%*.

4.2. Pemodelan

4.2.1. Pemodelan Menggunakan Rhinoceros

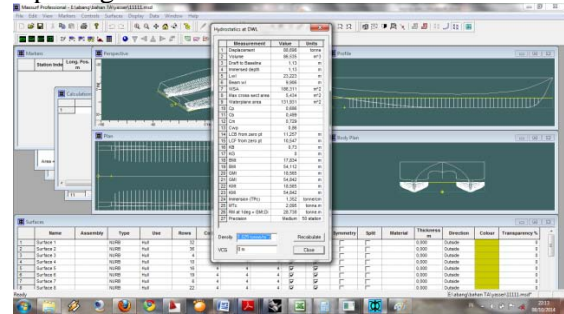
Pemodelan dengan Rhinoceros, memodelkan struktur kapal katamaran untuk mendapatkan bentuk kapal yang dimaksudkan. Data gambar yang didapatkan digunakan sebagai acuan untuk membantu pemodelan agar didapatkan perhitungan yang valid.



Gambar 3. Pemodelan pada Rhinoceros 4.0

4.2.2. Validasi dengan MaxsurfPro

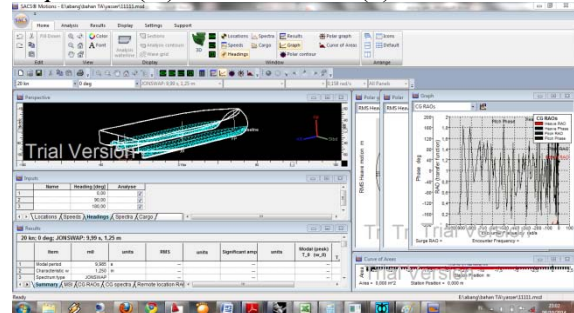
Pada pemodelan MaxsurfPro dapat diketahui *Displacement* dari kapal yang telah dimodelkan. *Displacement* yang didapat dari MaxsurfPro yaitu 88,698 ton, sedangkan pada data struktur *displacement* kapal adalah 89,016 ton. Sehingga pemodelan dengan MaxsurfPro dapat digunakan untuk memulai analisa.



Gambar 4. Pemodelan pada Rhinoceros 4.0

4.2.3. Analisa Gerakan Kapal dengan SACS

Pemodelan dilanjutkan dengan *software* SACS yang digunakan untuk mendapatkan variabel untuk menentukan perhitungan *motion* kapal katamaran. Variabel-variabel tersebut diantaranya adalah *frequency encounter* (ω_e), *amplitude* (A) dan sudut fase (δ).

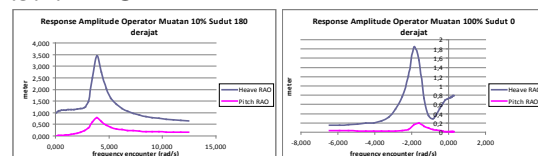


Gambar 5. Analisa pada SACS 5.6

Langkah selanjutnya adalah perhitungan *motion* katamaran

4.3. Perhitungan

4.3.1. RAO



Gambar 6. Grafik RAO gerakan *heave pitch* tertinggi dan terendah

Sehingga didapatkan nilai karakteristik gelombang sebagai berikut.

Tabel 4. Statistik gerakan *heave* untuk kecepatan 20 knot.

Statistik	Arah Datang Gelombang			
	0	90	180	
Frequency Encounter / ω (rad/s)	load	-1,59	3,30	3,45
Amplitude terbesar / A (m)	100%	1,95	3,16	3,10
Sudut Fase / δ ($^{\circ}$)		27,79	41,62	27,36
Frequency Encounter / ω (rad/s)	load	-1,88	3,90	3,86
Amplitude terbesar / A (m)	10%	2,61	4,28	4,30
Sudut Fase / δ ($^{\circ}$)		-18,96	11,57	15,64

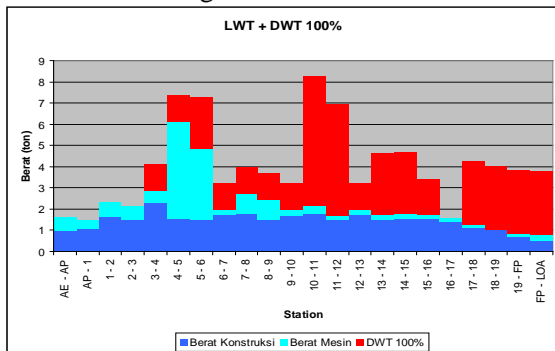
Tabel 5. Statistik gerakan *pitch* untuk kecepatan 20 knot.

Statistik	Arah Datang Gelombang			
	0	90	180	
Frequency Encounter / ω (rad/s)	load	-1,59	3,30	3,45
Amplitude terbesar / A (m)	100%	0,25	0,56	0,57
Sudut Fase / δ ($^{\circ}$)		-45,45	-62,03	-78,85
Frequency Encounter / ω (rad/s)	load	-1,88	3,90	3,86
Amplitude terbesar / A (m)	10%	0,31	0,98	0,98
Sudut Fase / δ ($^{\circ}$)		82,77	-87,46	-82,80

4.3.2. Perhitungan Penyebaran Berat

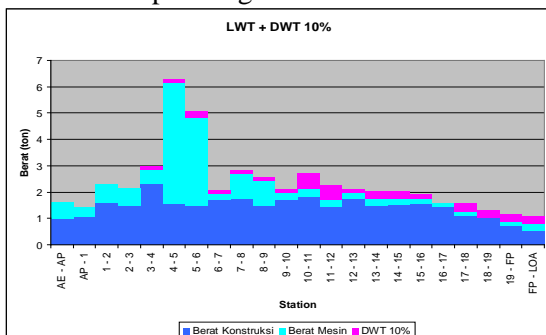
Perhitungan dilakukan dalam dua kondisi yaitu *Full Load* (muatan penuh) dan *Light Load* (muatan 10%).

Berikut grafik untuk variasi DWT untuk kapal dengan muatan 100%



Gambar 7. Grafik distribusi pembebanan untuk variasi DWT untuk kapal dengan muatan 100%

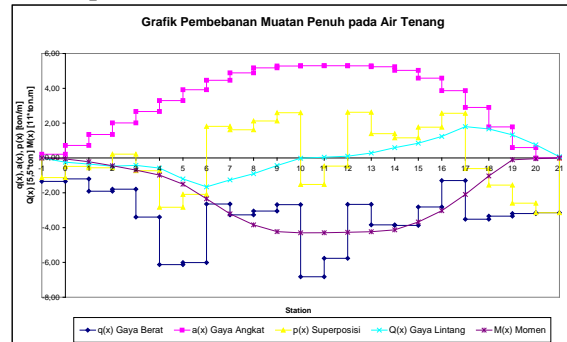
Berikut grafik untuk variasi DWT untuk kapal dengan muatan 10%



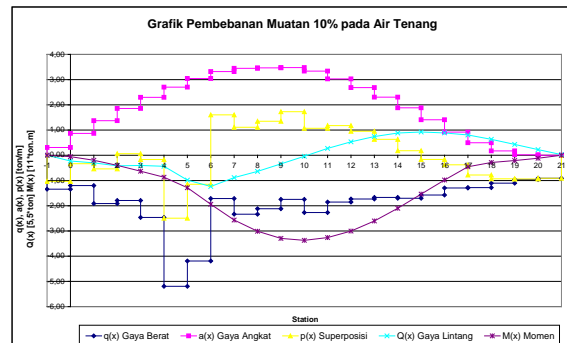
Gambar 8. Grafik distribusi pembebanan untuk variasi DWT untuk kapal dengan muatan 10%

4.3.3. Penyebaran *Shear force* dan *Bending moment* pada Air Tenang

Pada kondisi air tenang didapatkan grafik dari hasil perhitungan dengan menggunakan rumus pada BKI.



Gambar 9. Penyebaran *bending moment* dan gaya geser kondisi air tenang pada muatan penuh



Gambar 10. Penyebaran *bending moment* dan gaya geser kondisi air tenang pada muatan 10%

Pada kedua gambar diatas. Grafik ungu merupakan momen yang terjadi, sedangkan warna biru merupakan gaya lintang atau gaya geser

Berdasarkan gambar grafik diatas ditabulasikan pada tabel.

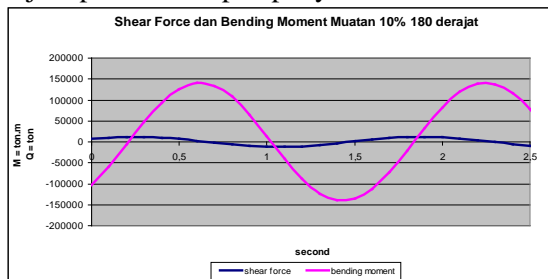
Tabel 6. Shear Force dan Bending Moment pada Air Tenang

Kondisi	Shear Force (ton)	Bending Moment (Ton.m)	Station
Muatan 10% sudut 0°	0	16272,47	10
Muatan 10% sudut 90°	0	136955,14	10
Muatan 10% sudut 180°	0	140621,29	10
Muatan Penuh sudut 0°	0	10710,93	10
Muatan Penuh sudut 90°	0	64598,25	10
Muatan Penuh sudut 180°	0	102783,24	10

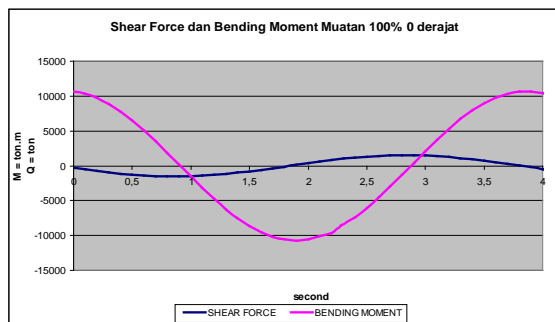
4.3.4. Analisa *Shear force* dan *Bending moment* akibat *Heaving-Pitching*

Untuk mengetahui Momen Total (MT) perlu untuk memperhitungkan momen akibat gelombang. Berdasarkan perhitungan dari buku

bathacarya, dihasilkan bahwa momen terbesar terjadi pada midship kapal yakni station 10.



Gambar 11. Gaya Geser dan Bending Moment Maksimum Kondisi Gelombang Regular Akibat *Heaving Pitching*



Gambar 12. Gaya Geser dan Bending Moment Minimum Kondisi Gelombang Regular Akibat *Heaving Pitching*

Dari grafik di atas dapat diperoleh nilai maksimum dari *Bending Moment* adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Nilai *Bending Moment* pada keadaan *Heaving Pitching*

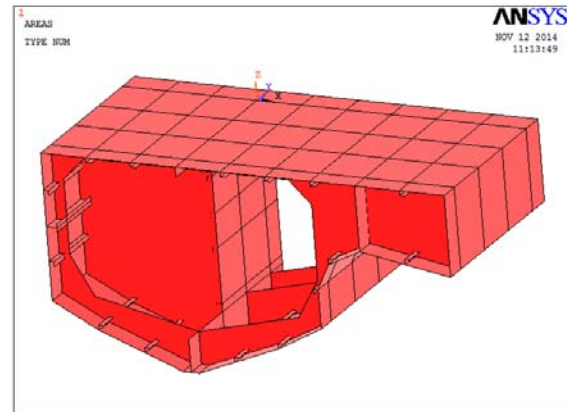
Kondisi	Msw (ton.m)	Mw (ton.m)	Mt (ton.m)
Muatan 10% sudut 0°	37,09	16272,47	16309,55
Muatan 10% sudut 90°	37,09	136955,14	136992,22
Muatan 10% sudut 180°	37,09	140621,29	140658,37
Muatan Penuh sudut 0°	47,27	10710,93	10758,20
Muatan Penuh sudut 90°	47,27	64598,25	64645,52
Muatan Penuh sudut 180°	47,27	102783,24	102830,51

Dengan demikian diperoleh Bending Moment maksimum yakni:

$$\begin{aligned}
 M_t &= M_{sw} + M_w \\
 &= 47,271 + 140621,29 \\
 &= 140658,37 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

4.3.5. Pemodelan pada ANSYS Multiphysic

Setelah mengetahui hasil dari perhitungan untuk mencari area kritis, langkah selanjutnya adalah memodelkan *critical area* tersebut ke ANSYS. Tujuan permodelan tersebut untuk menganalisa tegangan lokal pada station yang terjadi.



Gambar 13. Pemodelan pada station 10

4.3.6. Pembebanan pada model

Tahap selanjutnya adalah pemberian beban, beban yang diberikan antara lain.

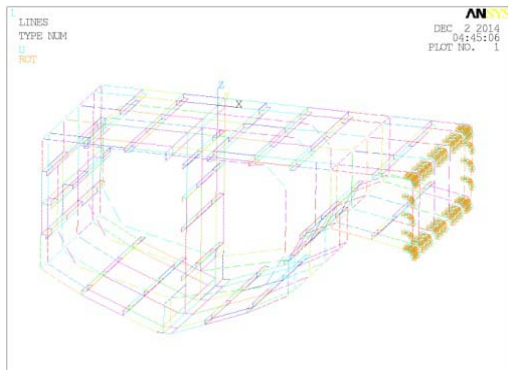
Tabel 8. Contoh Pembebanan pada model untuk kekuatan melintang dan memanjang *bending moment* terkecil

Jenis Pembebanan		Beban (ton)	Gaya (KN)
Load Case I	Beban konstruksi <i>deck</i> , bangunan atas dan beban muatan kapal	1,273	12,489
	<i>Exciting Force</i>		2850,87
Jenis Pembebanan		Momen (KN.m)	
Load Case II	<i>Bending Moment</i>		140658,37

Tabel 9. Contoh Pembebanan pada model untuk kekuatan melintang dan memanjang *bending moment* terbesar

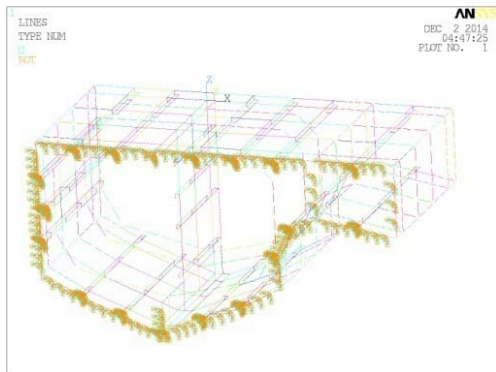
Jenis Pembebanan		Beban (ton)	Gaya (KN)
Load Case I	Beban konstruksi <i>deck</i> , bangunan atas dan beban muatan kapal	2,398	23,525
	<i>Exciting Force</i>		582,07
Jenis Pembebanan		Momen (KN.m)	
Load Case II	<i>Bending Moment</i>		10758,20

Untuk pembebanan pertama yang ditinjau adalah reaksi struktur terhadap arah transversal. Dengan constrain pada bagian plat yang menghubungkan antar *deck*, dengan pembebanan gaya bouyancy dan konstruksi *deck* dan bangunan atas. Berikut ilustrasi pembebanannya.



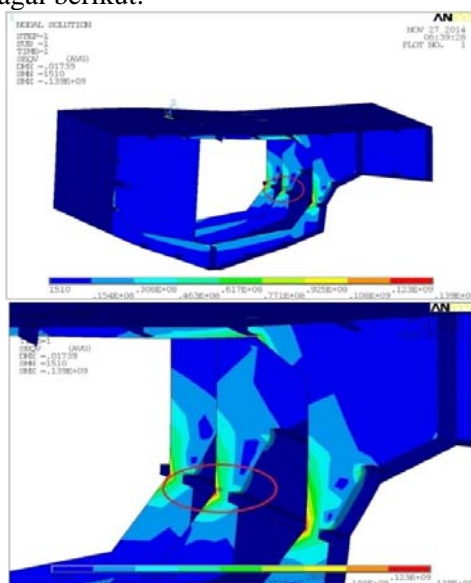
Gambar 14. Pembebanan kekuatan melintang

Untuk pembebanan kedua yang ditinjau adalah reaksi struktur terhadap arah longitudinal. Dengan constrain pada bagian plat dan profil pada station 9, dengan pembebanan moment dan konstruksi deck dan bangunan atas. Berikut ilustrasi pembebanannya.



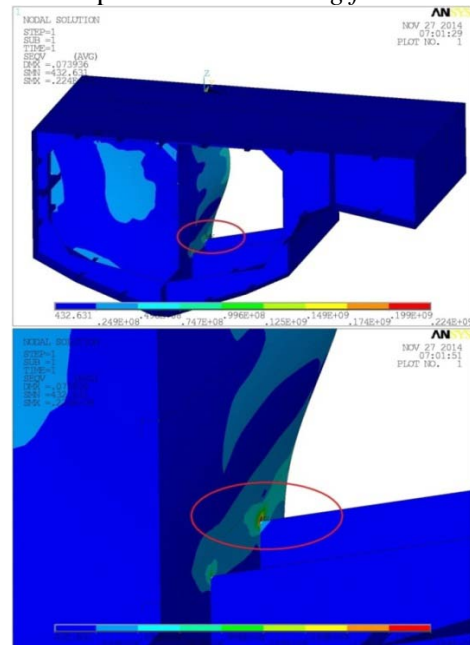
Gambar 15. Pembebanan kekuatan memanjang

Sehingga didapatkan contour pembebanan untuk kekuatan melintang dan memanjang sebagai berikut.



Gambar 16. Hasil kekuatan melintang

Setelah proses analisa, didapatkan bahwa daerah yang mendapatkan pembebanan paling kritis pada kondisi konstruksi melintang adalah pada profil T web frame. Nilai *stress* maksimum untuk kekuatan melintang sebesar 139 MPa untuk pembebanan *exciting force* terbesar sedangkan Nilai *stress* maksimum 28,3 MPa untuk pembebanan *exciting force* terkecil



Gambar 17. Hasil kekuatan memanjang

Sedangkan pada kondisi memanjang daerah yang mengalami pembebanan terbesar adalah pada sambungan profil L dengan pelat alas. Nilai *stress* maksimum untuk kekuatan memanjang sebesar 224 MPa untuk pembebanan *bending moment* terbesar sedangkan untuk nilai *stress* maksimum sebesar 90 MPa untuk pembebanan *bending moment* terkecil

Oleh karena itu, setelah dibandingkan dengan tegangan bahan ijin yang ada, maka didapatkan bahwa konstruksi pada sambungan deck dengan lambung bagian dalam terpenuhi

Tabel 10. Perbandingan *output stress* dan tegangan ijin pada kekuatan melintang

Kondisi	Arah Datang Gelombang	Analisa Kekuatan Melintang (MPa)	Tegangan Ijin BKI (MPa)	Safety Factor (%)	Cek
Muatan 10%	0°	43,2	305	7,06	√
	90°	139	305	2,19	√
	180°	141	305	2,16	√
Muatan 100%	0°	28,3	305	10,78	√
	90°	75,7	305	4,03	√
	180°	81,1	305	3,76	√

Tabel 11. Perbandingan *output stress* dan tegangan ijin pada kekuatan memanjang

Kondisi	Arah Datang Gelombang	Analisa Kekuatan Memanjang (MPa)	Tegangan Ijin BKI (MPa)	Safety Factor (%)	Cek
Muatan 10%	0°	139	305	2,19	√
	90°	222	305	1,37	√
	180°	224	305	1,36	√
Muatan 100%	0°	90	305	3,39	√
	90°	138	305	2,21	√
	180°	217	305	1,41	√

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Hasil analisa yang telah dilakukan untuk kekuatan melintang dan memanjang dapat disimpulkan :

1. *Response Amplitude Operator* tertinggi terjadi pada *heave motion* kondisi muatan kosong dengan arah datang gelombang 180° yakni sebesar 3,4 meter. Hal ini dikarenakan gelombang datang yang menghantam badan kapal berasal dari depan (*head seas*) dan kapal pada muatan kosong, sehingga badan kapal terangkat cukup tinggi oleh gelombang.
2. *Response Amplitude Operator* terendah terjadi pada *pitch motion* muatan penuh sudut 0° sebesar 0,2 meter. Hal ini dikarenakan gelombang datang yang menghantam badan kapal berasal dari belakang kapal (*following seas*) dan kapal pada muatan penuh, jadi kapal seperti tidak merasakan sesuatu karena kapal sedang melaju ke arah yang sejajar dengan gelombang.
3. *Bending Moment* terbesar terjadi pada kondisi kapal muatan 10% dengan arah datang gelombang 180° sebesar 140621,29 ton.m sehingga terjadi tegangan maksimum $\sigma_{max} = 139$ MPa untuk kekuatan melintang kapal sedangkan untuk kekuatan memanjang kapal didapatkan tegangan maksimum $\sigma_{max} = 224$ Mpa yang artinya struktur tersebut memenuhi tegangan ijin dari ketentuan BKI yaitu 305 MPa.
4. *Bending Moment* terkecil terjadi pada kondisi kapal muatan 100% dengan arah datang gelombang 0° sebesar 10710,93 ton.m sehingga terjadi tegangan maksimum $\sigma_{max} = 28,3$ MPa untuk kekuatan melintang kapal sedangkan untuk kekuatan memanjang kapal didapatkan tegangan maksimum $\sigma_{max} = 90$ Mpa yang artinya struktur tersebut memenuhi tegangan ijin dari ketentuan BKI yaitu 305 MPa.

5.2. SARAN

1. Daerah yang memiliki *bending moment* terbesar pada kondisi *heaving pitching couple* adalah station 10. Untuk kekuatan melintang, konstruksi sambungan antara *deck* dengan lambung yakni profil T *web frame* perlu diwaspadai. Sedangkan untuk kekuatan memanjang daerah yang perlu diwaspadai adalah sambungan *longitudinal bulkhead fuel oil tank* dengan profil T *web frame*.
2. Untuk menambah kekuatan memanjang, perlu adanya penambahan struktur penopang misalnya *bracket* karena stress yang terjadi besar.
3. Perlu dipertimbangkan juga ukuran *web frame* sehingga dapat memperkecil kemungkinan *stress maksimum* yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bathacarya Rameswar. 1978. *Dynamic of Marine Vehicles*. Maryland. JohnWiley&sons, Inc.
- [2] BKI. 2006. *Rules for the Clasification and Construction of Seagoing Steel Ship Vol 2 Section 5 for longitudinal strength*.
- [3] Chakrabarti S. K. 2005. *Handbook of Engineering Volume I*. Offshore Structure Analysis Inc. Planfield, Illinois, USA
- [4] Djatmiko, E. B. 2006. *Analisis gelombang Acak*. Pembinaan Dasar Engineering dan Inspector bangunan Lepas Pantai Terpancang. Bandung
- [5] Djatmiko, E. B., 2003b, *Seakeeping: Perilaku Bangunan Apung diatas Gelombang*. Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya
- [6] Ilma, Erwina R. 2010. *Analisa Kekuatan Struktur antara Deck dan Lambung Bagian Dalam Kapal Catamaran*. Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya
- [7] Rosyid, D. M, Setyawan, D. 2000. *Kekuatan Struktur Kapal*. Pradya Paramita. Jakarta.