



## Analisa Kekuatan Struktur Trimaran Dengan *Glass Bottom* di Perairan Karimunjawa Menggunakan Metode Elemen Hingga

Wahyu Adinata<sup>1)\*</sup>, Berlian Arswendo Adietya<sup>1)</sup>, Ahmad Fauzan Zakki<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

### Abstrak

Dengan penetapan karimunjawa sebagai kawasan taman nasional pada tanggal 14 maret 2000(Kep. Menhut No.74/Kpts-II/2001), karimunjawa tumbuh menjadi tempat wisata favorit baru. Sebagai tempat wisata berbasis kelautan tentu banyak menggunakan moda transportasi laut berupa kapal sebagai alat transportasi wisatawan untuk menuju pulau tertentu maupun sebagai wahana wisata itu sendiri. Dengan beragamnya biota laut yang berada di Karimunjawa, tentu banyak wisatawan yang tertarik untuk berkunjung. Untuk menunjang daya tarik maka terdapat pilihan berupa kapal wisata *glass bottom*. Kapal yang diteliti merupakan kapal dengan ukuran kecil sehingga kurang adanya aturan khusus mengenai kapal tersebut yang merupakan tipe *special craft* yang mengatur dari segi kekuatan struktural kapal. Untuk mengetahui respon struktur digunakan pembebanan hidrostatis kapal itu sendiri pada analisa kekuatan struktur kapal. Konstruksi utama kapal menggunakan konstruksi melintang pada main hull dan demi hull. Pada bagian buritan setelah main hull menggunakan konstruksi melingkar dengan kemiringan derajat tertentu. Hasil analisa menggunakan program berbasis Metode Elemen Hingga didapatkan tegangan maksimal kapal trimaran didapat  $7,31 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  pada node 74711 dan deformasi sebesar  $4,32 \times 10^{-4} \text{ m}$  pada boundary condition satu. Tegangan maksimal didapat sebesar  $1,24 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  terjadi pada node 80433 dan deformasi sebesar  $2,14 \times 10^{-4} \text{ m}$  pada boundary condition dua.

Copyright © 2017, **KAPAL**, 1829-8370 (p), 2301-9069(e)

Kata Kunci : Kekuatan Struktur, *Glass Bottom*, Karimunjawa, Trimaran, Metode Elemen Hingga

### 1. PENDAHULUAN

*Glass bottom boat* adalah sebuah perahu dengan penampang dasar kaca, atau bahan transparan lain yg sesuai, terletak pada bagian dibawah garis air (waterline) memungkinkan penumpang untuk bisa melihat lingkungan dibawah air dari dalam perahu. Melihat dari posisi dalam perahu akan lebih menarik dibandingkan melihat langsung dari atas air. Efek ini mirip dengan menggunakan kaca mata selam, tanpa harus menyelam sehingga penumpang tetap kering.

Dengan penetapan karimunjawa sebagai kawasan taman nasional pada tanggal 14 maret 2000(Kep. Menhut No.74/Kpts-II/2001), karimunjawa tumbuh menjadi tempat wisata

favorit baru. Sebagai tempat wisata berbasis kelautan tentu banyak menggunakan moda transportasi laut berupa kapal.

Penggunaan kapal bisa sebagai alat transportasi wisatawan untuk menuju pulau tertentu maupun sebagai wahana wisata itu sendiri. Dengan beragamnya biota laut yang berada di Karimunjawa, tentu banyak wisatawan yang tertarik untuk berkunjung. Untuk menunjang daya tarik maka terdapat pilihan berupa kapal wisata *glass bottom*.

Kapal wisata dengan *glass bottom* adalah kapal penumpang yang pada dasar atau sisinya terbuat dari bahan kaca untk tujuan wisata. Hal ini bertujuan agar bias melihat langsung biota laut baik ikan maupun karang secara visual. Dengan adanya *glass bottom* pada kapal memberikan pilihan baru , yaitu bisa melihat kehidupan laut

\*) Penulis Korespondensi :

Email : adinatawahyu@gmail.com

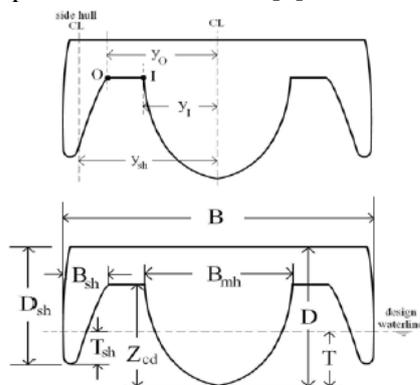
tanpa harus basah masuk kedalam air laut seperti *snorkeling*. Hal ini menimbulkan beberapa pertanyaan kekuatan kapal dengan *glass bottom*.

Harapannya dengan penelitian ini dapat menjadi acuan dalam menentukan kekuatan struktur kapal trimaran dan kekuatan *glass bottom* dengan menggunakan *tempered glass*.

## 2. METODE

### 2.1. Model Kapal

Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah trimaran. Trimaran merupakan kapal yang terdiri dari tiga hull, yaitu satu mainhull yang berada di tengah dan memiliki dimensi lebih besar, serta dua demihull yang berada di sisi-sisi kapal dan berdimensi lebih kecil. Salah satu keuntungan kapal trimaran adalah pada displacement yang sama dengan kapal monohull, kapal trimaran memiliki sarat air lebih rendah dibandingkan dengan kapal monohull, dengan kondisi perairan Indonesia yang memiliki banyak pulau kecil dan mempunyai sarat air rendah, maka kapal trimaran dapat menjangkau wilayah perairan yang dangkal sehingga pemilihan kapal dengan bentuk badan trimaran diharapkan mampu mengatasinya dengan kelebihan yang dimiliki oleh kapal trimaran tersebut. [1]



Gambar 1. Lambung Trimaran

Data didapat dari data penelitian sebelumnya dan juga jurnal, maka didapat data untuk penilitan ini sebagai berikut:

Data ukuran utama kapal trimaran:  
 Panjang kapal (LoA) : 18,75 m  
 Lebar kapal (B) : 12,40 m  
 Tinggi kapal (H) : 2,98 m  
 Sarat air (T) : 1,05 m

### 2.2. Material Kapal

Material yang digunakan pada kapal tersebut adalah *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)*. *FRP* adalah material komposit yang terbuat dari

polimer matriks dengan diperkuat oleh serat. Kelebihan dari material ini jika dibandingkan dengan logam adalah perbandingan kekuatan terhadap berat yang tinggi, kekakuan, ketahanan terhadap korosi dan lain-lain.

Matriks merupakan fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat bersama-sama. Matriks merupakan konstituen penyusun komposit yang berperan sebagai pengikat atau penyangga yang menjaga kedudukan antar fase penguat, serta mentransfer tegangan agar sedapat mungkin disangga penguat. *Reinforced* adalah penguat yang ditempatkan didalam matriks pada komposit dan harus memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi dari matriksnya

*Fiberglass*, serat kaca merupakan serat sintetik yang terbentuk dari kaca oksida silikon SiO<sub>2</sub> yang dibentuk melalui proses drawing dari cairan kaca. *Fiberglass* dikelompokkan seuai dengan perannya di industry, yaitu *E-Glass* yang paling banyak diproduksi dan pemakaian yang luas untuk reinforced pada komposit dan *S-Glass* merupakan fiber terpopuler kedua setelah *E-Glass*, mempunyai kekuatan tarik 30% lebih baik dan modulus elastisitas 20% lebih baik dari *E-Glass*. Tetapi tidak banyak digunakan karena harganya yang relatif lebih mahal [2].

Tabel 1. Properti Material FRP [3]

Properti	Nilai
Modulus Young's (E)	6,35 x10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup>
Shear Modulus (G)	2,75 x10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0,14
Density	2,100 Kg/m <sup>3</sup>

### 2.3. Material Dasar Kapal

Dasar lambung kapal bermaterial kaca agar penumpang dapat melihat keindahan bawah air. Kaca berasal dari bahan yang bersifat cair namun memiliki kepadatan tinggi, dan struktur amorf. Atom-atom di dalamnya tidak membentuk suatu jalinan yang beraturan, seperti kristal, atau biasa disebut gelas. Kaca kebanyakan dibuat dari silika (SiO<sub>2</sub>), campuran batu pasir dengan fluks yang menghasilkan kekentalan dan tilik leleh yang tidak terlalu tinggi, untuk kemudian dicampur lagi dengan bahan stabilisator supaya kuat [4].

Tempered glass adalah kaca yang diperkeras dengan memanaskan kaca float biasa hingga mencapai temperature 700° C dan kemudia didinginkan mendadak dengan menyemburkan udara secara merata pada dua permukaan kaca. Degan demikian bagian permukaan kaca akan berada dalam keadaan tekan (state of compression), dan bagian dalam kaca akan berada

dalam bentuk keadaan Tarik (state of tension) [5]. Kaca yang diperkuat dengan temper dan panas dapat mencapai tiga sampai tujuh kali kaca anil [6].

Tabel 2. Properti Material *Tempered Glass* [7]

Properti	Nilai
Modulus Young's (E)	$7,4 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Shear Modulus (G)	$2,8689 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Poisson's Ratio	0,20
Density	$2,500 \text{ Kg/m}^3$

## 2.4. Tegangan

Pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak hingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga suatu potongan berubah-ubah dari satu titik ke titik yang lain, umumnya intensitas ini berarah miring pada bidang potongan. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada suatu titik.

Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitik tangkap pada sebuah titik, secara matematis didefinisikan sebagai :

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Di mana F adalah suatu gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan, sedangkan A merupakan luas yang bersangkutan. Tegangan normal yang menghasilkan tarikan (*traction* atau *tension*) pada permukaan sebuah potongan biasa kita sebut tegangan tarik (*tensile stress*).

Di sudut pandang lain, tegangan normal yang berada dalam potongan tersebut disebut tegangan tekan (*compressive stress*)[8]

Metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan. Metode elemen hingga menggunakan prinsip yang sama dengan struktur sederhana tersebut dimana setiap struktur yang akan dianalisa dibagi terlebih dahulu menjadi elemen-elemen kecil.

Ada beberapa jenis analisa yang digunakan dalam metode elemen hingga antara lain :

### 1. Analisa Linier Statis

Analisa linier statis merupakan analisa yang digunakan untuk mendefinisikan kondisi struktur terhadap pembebanan yang linier atau searah (konstan). Sehingga jenis

pembebanan yang digunakan pada analisa statis seperti pembebanan yang berbentuk gaya dan tekanan.

### 2. Analisa Non Linier Statis

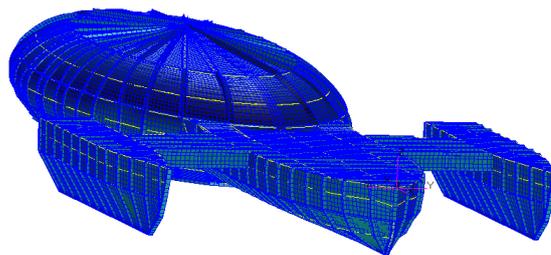
Jika suatu struktur material mengalami pembebanan di atas titik luluhnya (*yield point*), maka dapat didefinisikan bahwa hubungan antara tegangan dan regangan sudah tidak konstan lagi akan tetapi non linier. Dengan hubungan yang non linier ini, Modulus Young dari material cenderung berubah / menurun selama analisa, yang akibatnya akan terjadi deformasi yang permanen (plastis). [9]

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Model

Kapal trimaran dengan *glass bottom* dimodelkan berdasarkan Finite Elemen Method (FEM) dan dibuat pemodelan dalam program aplikasi Msc Patran kemudian di analisa hasil permodelan menggunakan program aplikasi Msc Nastran.

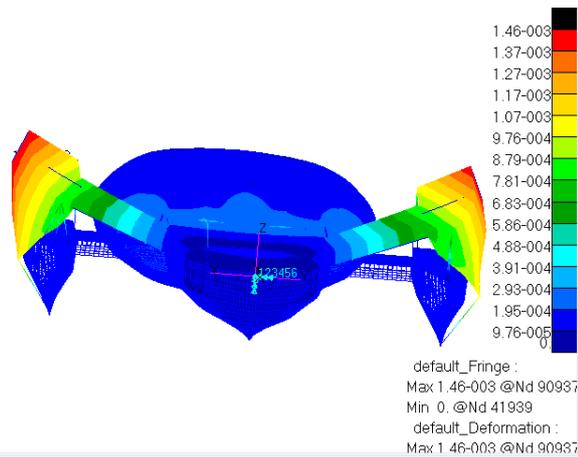
Permodelan trimaran ini menggunakan variasi konstruksi yang merupakan uji eksperimen dengan bentuk konstruksi melintang pada bagian mainhull dan demihull, dan pada belakang mainhull menggunakan konstruksi melingkar dengan derajat kemiringan mulai dari  $0^0$  sampai  $180^0$  dengankenaikan  $10^0$  setiap gadingnya. Dasar penentuan ukuran setiap penguat struktur mengacu pada aturan BKI.



Gambar 2. Pemodelan kapal trimaran dengan software MSC. Patran

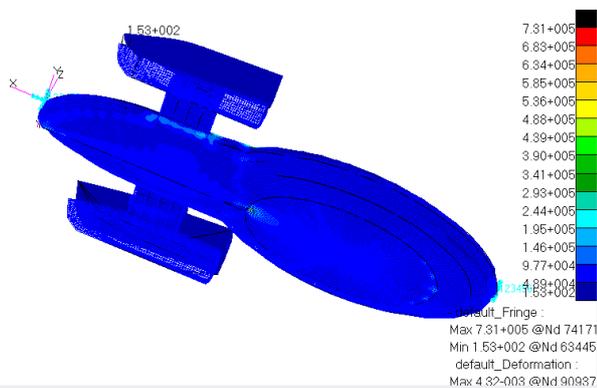
### 3.2. Analisa Kekuatan

Respon analisa kekuatan pada trimaran dengan *boundary condition* pada ujung haluan dan buritan kapal.



Gambar 3 Respon Struktur pada *Boundary Condition* satu pada MSC.Patran 1

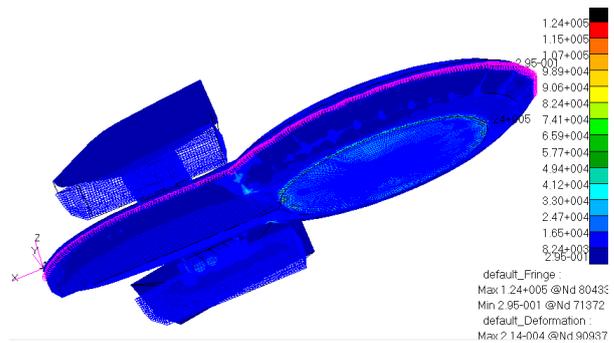
Ditinjau dari fringe *displacement translation* pada model sesuai Gambar 3 kapal trimaran didapat nilai deformasi kapal sebesar  $1,46 \times 10^{-3}$  m pada node 90937.



Gambar 4. Respon struktur pada *Boundary Condition* satu pada MSC.Patran 2

Ditinjau dari tegangan maksimum (*von misses*) pada struktur sesuai Gambar 4 didapat sebesar  $7,31 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> terjadi pada node 74171 dan deformasi sebesar  $4,32 \times 10^{-4}$  m pada node 111095. Tegangan maksimal terletak pada percabangan lunas kapal. Percabangan ini dikarenakan lunas kapal pada bagian ruangan yang melingkar harus mengikuti struktur yang ada. Sehingga bentuk lunas pada pertemuan mainhull dengan ruang glass bottom bercabang. Serta terdapat beban sebesar  $1,53 \times 10^3$  N/m<sup>2</sup> pada pertemuan sisi lambung dengan geladak pada sambungan konstruksi melintang ke konstruksi melingkar.

Respon analisa kekuatan pada trimaran dengan *boundary condition* pada tengah struktur kapal.



Gambar 4.5 Respon Struktur pada *Boundary Condition* 2 pada MSC.Patran.

Ditinjau dari tegangan maksimum (*von misses*) pada struktur kapal didapat sebesar  $1,24 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> terjadi pada node 80433 dan deformasi sebesar  $2,14 \times 10^{-4}$  m pada node 90937. Tegangan terletak pada gading-gading pertemuan dua jenis material yang berbeda yaitu, *tempered glass* yang merupakan panel *glass bottom* dan FRP yang merupakan bahan struktur dari kapal.

Faktor keamanan (*Safety Factor*) adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Sebelum menghitung *safety factor*, dicari terlebih dahulu nilai tegangan ijin sesuai dengan ketentuan BKI Part 3, Volume A, Section 2 B.2.2.1.

$$\text{Tegangan ijin } \sigma = \frac{R_m \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \dots R_n}{S}$$

Tegangan Hasil  $\leq$  Tegangan Rules.

$$P_x, \sigma_x, \sigma_y \leq \sigma \text{ yield}$$

$$SF = \frac{\text{Tegangan ijin}}{\text{Tegangan Maksimum}}$$

SF = *Safety Factor*  $\geq 1$  (Memenuhi Kriteria)

$$\text{SF pada } \textit{boundary condition} \text{ satu} = \frac{5,99 \times 10^{10} \text{ N/m}^2}{7,31 \times 10^5 \text{ N/m}^2} = 8,19 \times 10^4 \text{ (Memenuhi Kriteria)}$$

$$\text{SF pada } \textit{boundary condition} \text{ dua} = \frac{5,99 \times 10^{10} \text{ N/m}^2}{1,24 \times 10^5 \text{ N/m}^2} = 4,83 \times 10^4 \text{ (Memenuhi Kriteria)}$$

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa tegangan maksimal kapal trimaran didapat  $7,31 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> pada node 74171 dan deformasi sebesar  $4,32 \times 10^{-4}$  m pada *boundary condition* satu. Sedangkan tegangan maksimal didapat sebesar  $1,24 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> terjadi pada node 80433 dan deformasi sebesar  $2,14 \times 10^{-4}$  m pada *boundary condition* dua.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alexander W. Gray: "A Preliminary Study of Trimarans" West Virginia University
- [2] Sulistijono. 2012. "Mekanika Material Komposit" ITS Press, Surabaya.
- [3] BKI. 2015. Volume A Guidance For FRP And Wooden Fishing Vessel Up To 24 m, Part 3 . Jakarta
- [4] Shadily, Hassan (1984). Ensiklopedi Indonesia Volume 3. Ichtiar Baru-Van Hoeve. p. 1614
- [5] [www.glazette.com](http://www.glazette.com) (diakses pada Kamis, 26 Mei 2016)
- [6] Redner, A. S., "PC-Based Stress-Measuring System for On-Line Quality Control of Tempered and Heat-Strengthened Glass," Use of Glass in Buildings, ASTM STP 1434, V. Block, ed. ASTM International, West Conshohocken, PA 2002.
- [7] Shunhua Chen, Mengyan Zang, dkk. 2015. Finite element modelling of impact damage in polyvinyl butyral laminated glass.
- [8] Popov, E P. 1996. "Mekanika Teknik". Erlangga. Indonesia
- [9] Logan, D.L. 2002. A First Course in the Finite Element Method, 4th edition. Brooks/Cole Thompson Learning, Boston.