



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Perancangan Kapal Katamaran dengan Material *Unplastized Poly Vinyl Chloride (UPVC)* untuk Menunjang Pariwisata di Danau Toba

Musthofainal Akhyar^{1*)}, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Ari Wibawa Budi Santosa¹⁾

¹⁾Laboratorium Komputer & Desain Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : musthofainalakhya91@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian sebelumnya telah dibangun kapal penangkap ikan dengan menggunakan pipa PVC yang disatukan sehingga membentuk sebuah lambung kapal, inovasi ini melatar belakangi penelitian ini, pemilihan UPVC sebagai material kapal karena dari segi kekuatan dan tingkat kekerasannya lebih baik dari PVC, penggunaan UPVC akan menambah keanekaragaman pemilihan material didunia perkapalan. Danau Toba merupakan kawasan wisata strategis hanya memiliki 39% jumlah kapal pariwisata dari keseluruhan total kapal yang beroperasi di Danau Toba. Dari penelitian ini didapatkan rancangan kapal pariwisata katamaran dengan material UPVC berupa rencana garis, rencana umum dan analisis kekuatan kapal menggunakan metode berbasis elemen hingga dengan bantuan software FEM Abaqus. Kapal UPVC yang dirancang memiliki ukuran utama LBP 14,88 m, lebar 4,35 m, tinggi 1,7 m dengan sarat 0,74 m, yang dapat mengangkut 40 orang penumpang, pada analisis desain konstruksi kapal UPVC mendapatkan nilai tegangan tertinggi sebesar 0,1562 Mpa pada kondisi air tenang, 1,09 MPa pada kondisi sagging dan 0,9635 Mpa pada kondisi hogging yang mana nilai tegangan masih dibawah nilai tegangan izinnnya yaitu 3,45 MPa. Berdasarkan nilai tegangannya kapal UPVC dianggap aman untuk beroperasi di perairan Danau Toba.

Kata Kunci : *Unplastized Poly Vinyl Chloride (UPVC)*, Rencana Garis, Rencana Umum

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan dengan wilayah perairan yang luas, baik lautnya maupun perairan air tawarnya.

Danau Toba merupakan salah satu danau terbesar di Indonesia yang termasuk dalam Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN), dimana dalam pengembangan potensi pariwisata di Danau Toba dukungan transportasi sangat diperlukan seperti kapal-kapal penyedia jasa, tetapi dari data yang diambil pada tahun 2019 jumlah kapal pariwisata hanya 32% dari total kapal yang beroperasi di Danau Toba, hal ini sangat disayangkan untuk segi pariwisata dimana akan berdampak pada terbatasnya akses yang didapat oleh wisatawan dimana hal ini menjadi salah satu poin permasalahan dalam pembangunan pariwisata berkelanjutan di Danau Toba [1]. Dengan peningkatan jumlah kapal pariwisata yang beroperasi tentu akan meningkatkan jumlah pengunjung dan variasi tempat baru dalam *tour*

pariwisata di Danau Toba dan menghindarkan kelebihan penumpang karena terbatasnya armada kapal pariwisata yang tersedia.

Pada umumnya kapal-kapal pariwisata di Danau Toba berbahan kayu, yang mana didasari ketersediaannya galangan kapal kayu di daerah Tuktuk Sumatera Utara [2].

Kayu dan *Fiberglass* merupakan bahan yang lazim dipakai sebagai bahan pembuatan kapal, baik kapal ukuran kecil hingga sedang, pada penelitian sebelumnya telah ada perancangan kapal dengan variasi material dimana lambung kapal menggunakan pipa PVC yang disusun dan disatukan sedemikian rupa sehingga membentuk lambung kapal yang dikehendaki dan menggunakan kayu sebagai bahan material geladak nya [3].

Dari permasalahan dan penjelasan sebelumnya penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain perancangan kapal dengan menggunakan alternatif material dengan menggunakan *Unplastized Poly Vinyl Chloride*

(UPVC) sebagai material utama pembangunan kapal pariwisata, dimana UPVC sendiri merupakan material turunan PVC yang mengalami proses penghilangan sifat plastisnya sehingga lebih keras dari PVC biasa sehingga menjadikan UPVC jadi lebih kuat dan ringan [4], U Tidak hanya lebih kuat dan keras UPVC juga tahan terhadap korosi, asam dan memiliki ketahanan material kira-kira hingga 50 tahun [5]. Batasan masalah dari penelitian ini meliputi pemilihan jenis lambung tipe Katamaran, penentuan ukuran utama, rencana garis, rencana umum, profil dan kekuatan konstruksi hingga sesuai dengan karakteristik perairan Danau Toba.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Data primer dan sekunder menjadi objek penelitian dimana data primer adalah data ukuran utama kapal-kapal pembanding berbahan FRP dengan bentuk lambung tipe katamaran, seperti yang tersaji pada tabel 1. Data sekunder merupakan data yang didapat sebagai data pendukung berupa literatur dari jurnal penelitian ilmiah sebelumnya.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Pembanding

No	Nama Kapal	L	B	H	T	Δ
1	Austhai 1100 Cat	10	3,31	1,8	0,8 5	6
2	Austhai 1100 Ferry Cat	10	3,31	1,8	0,8 5	7,9
3	Austhai 8000 Taxi	6,99	3	1,8	0,8 5	3,5 5
4	Austhai 1300 Ferry Cat	11,59	4,5	1,8	0,8 5	16, 5
5	MEC	18,8	4,48	2,0 5	0,7 5	21, 8
6	E-12 Water Taxi	12	4	1	0,5	5,3
7	LMEC	18,8	4,1	1,5 5	0,6 6	22, 55
8	Barracu da	15,24	6,1	1,7 1	0,8 1	8,6 54
9	Sanayde fa	9,2	2,89	1,6 7	0,7 9	5,3
10	Brickto wn	16	6	1,2	0,5 7	7,8

2.2. Unplastized Poly Vinyl Chloride(UPVC)

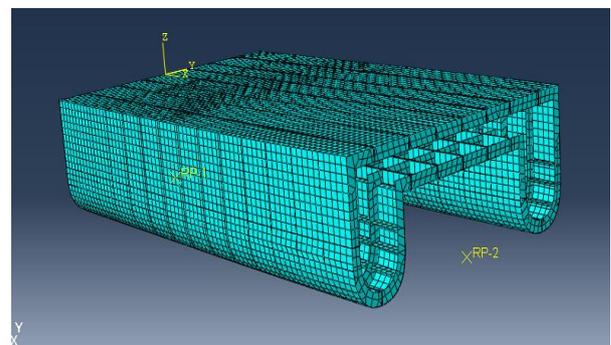
Pada penelitian ini berfokus pada kekuatan konstruksi untuk kapal dengan material UPVC sebagai material utama pembangunan kapal. Dimana UPVC adalah jenis PVC yang mengalami proses tertentu sehingga sifat plastisnya dihilangkan, dengan demikian menjadikan UPVC lebih keras dibandingkan dengan PVC.

2.3. Perancangan Sistem Konstruksi

Perancangan sistem konstruksi kapal berbahan UPVC ini menggunakan prinsip pembuatan kapal model dimana untuk sistem penggadingannya dengan menggunakan sistem rangka secara memanjang dan melintang.

2.4. Permodelan Menggunakan FEM

Finite Element Method (FEM) merupakan salah satu prosedur numerik yang dipakai dalam penyelesaian permasalahan dibidang rekayasa (Engineering) untuk mendapatkan nilai tegangan [6], dimana dalam hal ini berupa analisis besarnya tegangan terhadap suatu bentuk struktur. Dimana pada permodelan dengan menggunakan FEM ini dengan membagi suatu objek struktur yang akan dianalisis menjadi bagian-bagian hingga (Finite) atau biasa disebut elemen dalam hal ini dapat disebut *meshing*. Permodelan menggunakan FEM meliputi *material properties*, ukuran *mesh*, kondisi batas (*boundary condition*), dan ukuran model [7].



Gambar 1. Bentuk Model dengan Finite Element Method

Pada Gambar 1 menyajikan permodelan konstruksi kapal katamaran dengan menggunakan bantuan software FEM.

2.5. Analisis Respons Struktur

Setelah dilakukan perancangan sistem konstruksi, dilakukan analisis respon struktur untuk mendapatkan nilai deformasi dan tegangan dengan memakai pembebanan statis dengan beban internal kapal, dalam hal ini memakai tinggi gelombang rata-rata perairan kapal akan beroperasi yaitu Danau Toba dengan ketinggian 0,6 m.

2.6. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Pengasumsian kondisi batas harus disesuaikan dengan keadaan sebenarnya, sehingga kemiripan kondisi dan kecocokan dengan keadaan dilapangan, dimana pengambilan asumsi kondisi batas dapat dipilih dari *rules* ataupun penelitian sebelumnya. seperti pengaplikasian kondisi batas untuk penelitian ini yang bersumber dari penelitian-penelitian sebelumnya [8], seperti yang tersaji pada tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Lokasi	δx	δy	δz	θx	θy	θz
Ujung depan	-	Fix	Fix	-	-	-
Ujung Belakang	Fix	Fix	Fix	Fix	-	-

2.7. Pendefinisian Material

Pada penelitian kali ini kapal menggunakan material *Unplazitized Poly Vinyl Chloride (UPVC)*.

<i>Modulus of Elasticity</i>	: $3,4 \times 10^3$ MPa
<i>Poisson Ratio</i>	: 0,38
<i>Density</i>	: 1,42 Ton/m ³
<i>Yield Strength</i>	: 3,45 MPa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan Ukuran Utama

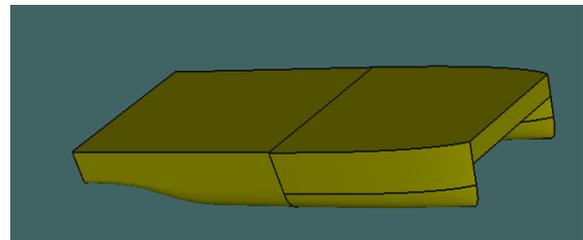
Penentuan ukuran utama menggunakan metode regresi linear dari data ukuran utama kapal pembanding dengan tipe lambung katamaran, ukuran utama kapal pariwisata katamaran dengan menggunakan material *UPVC* dengan bentuk lambung katamaran mencakup *LOA, LBP, B, Depth, Draft, CB* dan *Displacement* seperti yang disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Ukuran Utama Kapal Pariwisata *UPVC*

No	Ukuran Utama	Dimensi
1	<i>Length Over All</i>	15,148 m
2	<i>Length Between Perpendicular</i>	14,88 m
3	<i>Breadth</i>	4,35 m
4	<i>Depth</i>	1,7 m
5	<i>Draft</i>	0,74 m
6	<i>CB</i>	0,604
7	<i>Displacement</i>	15,45 Ton

3.2. Permodelan Kapal

Proses permodelan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Modeller* dan *Rhinoceros*, dimana menggunakan contoh lambung kapal dengan bentuk katamaran yang telah disediakan *Maxsurf Modeller* lalu disesuaikan dengan ukuran utama kapal yang diinginkan sesuai tabel 3.

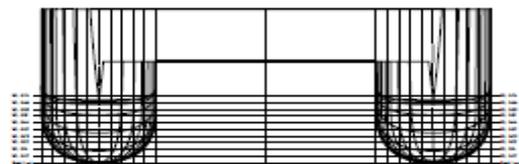


Gambar 2. Hasil Permodelan

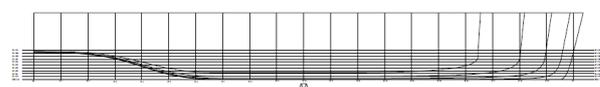
Gambar 2 merupakan hasil modifikasi dan penyesuaian dari model awal dengan menggunakan *software modeler Rhinoceros* dimana ukuran utama kapal yang didapatkan sebagai acuan dalam melakukan permodelan.

3.3. Rencana Garis

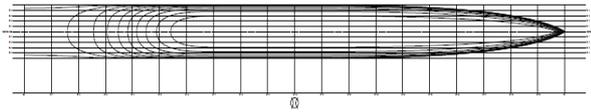
Dari hasil modifikasi bentuk lambung di gambar 2 bisa didapatkan bentuk rencana garis dengan menggunakan perangkat lunak *Rhinoceros* menggunakan *command countour* pada model lambung dan dibagi sesuai *waterline, station* dan *buttock line*, sehingga didapatkan proyeksi gambaran rencana garis dalam bentuk dua dimensi,



Gambar 3. *Body Plan*



Gambar 4. *Sheer Plan*

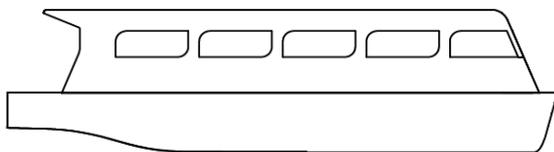


Gambar 5. Half Breadth Plan

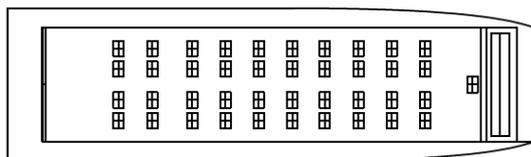
Pada gambar 3, 4 dan 5 adalah tampak hasil proyeksi berupa *body plan*, *sheer plan* dan *half breadth plan*, dimana komponen - komponen tersebut adalah bentuk rencana garis kapal katamaran berbahan UPVC.

3.4. Rencana Umum

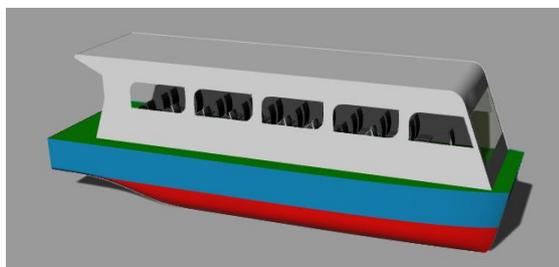
Setelah mendapatkan hasil pada tahap sebelumnya berupa ukuran utama kapal pariwisata katamaran berbahan UPVC dan rencana garis maka tahapan selanjutnya adalah perancangan rencana umum kapal pariwisata katamaran berbahan UPVC, rencana umum kapal pariwisata katamaran berbahan UPVC disajikan pada gambar 6 dan gambar 7, untuk gambar 8 menyajikan tampak perspektif tiga dimensi dari rencana umum kapal pariwisata katamaran berbahan UPVC, pada rencana umum kapal pariwisata katamaran berbahan UPVC dapat mengangkut penumpang sebanyak 40 orang.



Gambar 6. Tampak samping



Gambar 7. Tampak main deck



Gambar 8. Tampak perspektif 3D

3.5. Profil Konstruksi

Perhitungan profil menggunakan *rules* BKI *FRP ship* 2021 dimana untuk jarak *frame* menggunakan jarak standar yaitu 500 mm dan

menggunakan bentuk rangka untuk tiap bagian konstruksinya.

a. Tebal Plat

Tebal plat ditentukan dengan persamaan dari *Rules BKI for Fibreglass Reinforced Plastic Ship* 2021 [9].

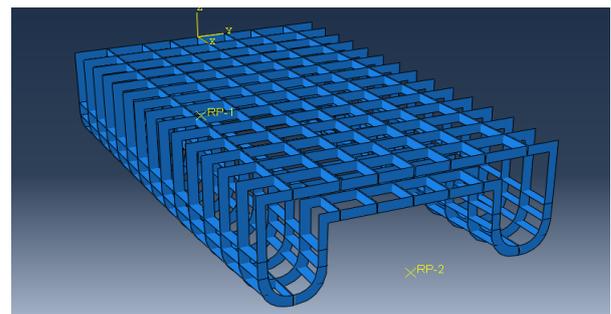
$$t_k = 9 + 0,4L \quad (1)$$

Dimana pada persamaan diatas t_k adalah nilai tebal plat kapal dan L adalah panjang kapal, dari persamaan (1) didapatkan nilai tebal plat 15 mm seperti yang disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Tebal Plat

Part	Thickness (mm)
Keel Plate	15
Side Shell	15
Deck Plate	15

b. Rangka Konstruksi



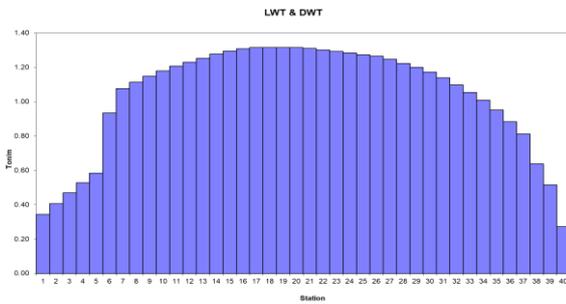
Gambar 9. Rangka Konstruksi

Pada gambar 9 menyajikan sistem konstruksi kapal pariwisata katamaran berbahan UPVC yang menggunakan sistem rangka model dengan menggunakan UPVC dengan ketebalan 15 mm ditiap bagiannya.

3.6. Pembebanan Struktur

a. Distribusi Beban

Pendistribusian beban pada kapal secara menyeluruh sepanjang *Length Between Perpendicular (LBP)* dibagi 40, dimana pembagian LBP dan distribusi beban bertujuan untuk mendapatkan momen lengkung kapal, pada gambar 10 menyajikan hasil distribusi beban kapal untuk tiap *station* nya.



Gambar 10. Pendistribusian Pembebanan LWT + DWT

b. Tekanan Hidrostatik

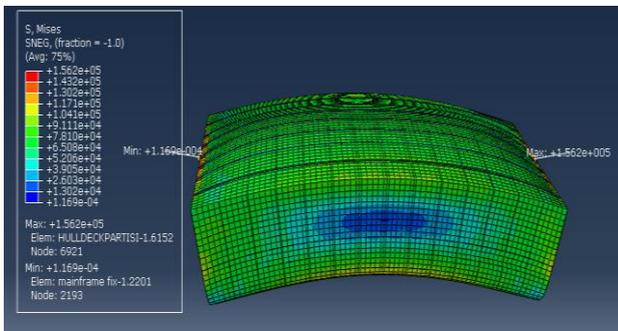
Tekanan hidrostatik merupakan besarnya tekanan air yang diberikan terhadap WSA kapal akibat adanya gaya angkat dan pengaruh gaya gravitasi [10]. Tekanan hidrostatik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P = \rho g H \quad (2)$$

Dalam persamaan ini P adalah besarnya tekanan hidrostatik (Pa), ρ adalah massa jenis air 1000 kg/m^3 , g adalah besarnya percepatan gravitasi yaitu $9,81 \text{ m/s}^2$.

3.7. Analisis Respon Struktur

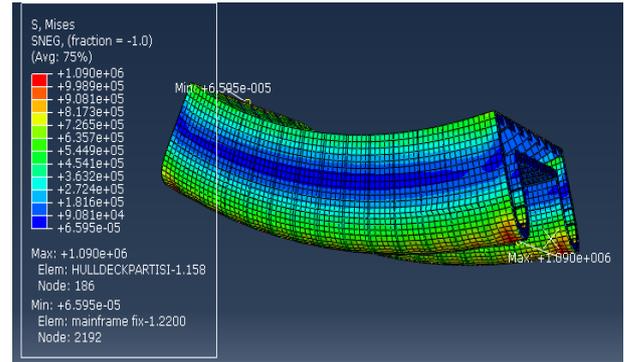
a. Kondisi Air Tenang



Gambar 11. Tegangan pada Kondisi Air Tenang

Pada gambar 11 diketahui nilai tegangan yang didapatkan dari analisis menggunakan *software FEM* sebesar $1,562 \times 10^5 \text{ Pa}$ atau $0,1562 \text{ Mpa}$, dimana nilai tegangan masih berada dibawah nilai *yield strength* material UPVC yaitu $3,45 \text{ MPa}$.

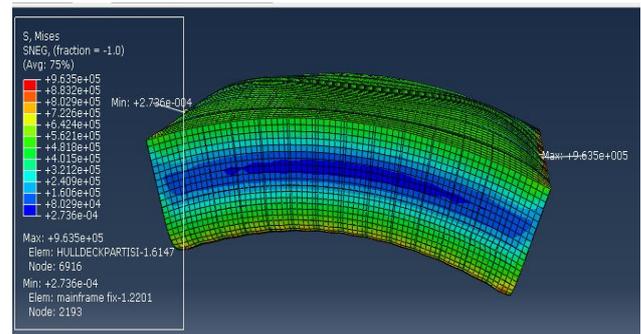
b. Kondisi Sagging



Gambar 12. Tegangan pada Kondisi Sagging

Pada gambar 12 diketahui nilai tegangan yang didapatkan dari analisis menggunakan *software FEM* sebesar $1,09 \times 10^6 \text{ Pa}$ atau $1,09 \text{ Mpa}$, dimana nilai tegangan masih berada dibawah nilai *yield strength* material UPVC yaitu $3,45 \text{ MPa}$.

c. Kondisi Hogging



Gambar 13. Tegangan pada Kondisi Hogging

Pada gambar 13 diketahui nilai tegangan yang didapatkan dari analisis menggunakan *software FEM* sebesar $9,635 \times 10^5 \text{ Pa}$ atau $0,9635 \text{ Mpa}$, dimana nilai tegangan masih berada dibawah nilai *yield strength* material UPVC yaitu $3,45 \text{ MPa}$.

3.8. Validasi Model

Validasi model didapat dengan membandingkan nilai defleksi dari hasil analisis dengan menggunakan permodelan bentuk struktur pada *software FEM* dengan metode perhitungan secara manual dengan memakai persamaan rumus defleksi balok.

a. Perhitungan Defleksi

Untuk mencari nilai defleksi dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut [11].

$$Defleksi = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (3)$$

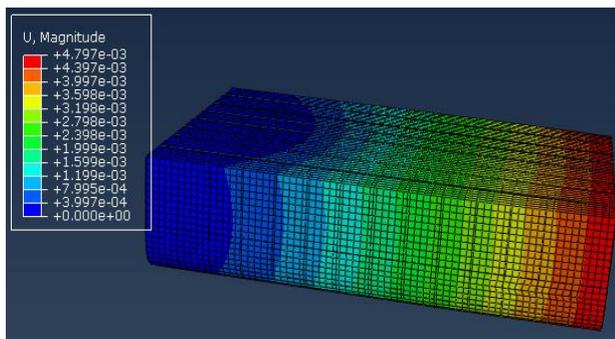
Dimana F adalah gaya (N) sebesar 10000 N, L adalah panjang model pada *software* sebesar 7000 mm, E adalah nilai dari modulus elastis (Mpa) UPVC yaitu 3.4×10^3 Mpa, I adalah besar nilai inersia (mm⁴) yaitu $7,1639 \times 10^{10}$ mm⁴, dengan hasil perhitungan sesuai persamaan (3) sebagai berikut:

$$Defleksi = \frac{10000 \times 7000^3}{3 \times (3,4 \times 10^3) \times (7,1639 \times 10^{10})}$$

$$Defleksi = 4,694 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan manual menggunakan persamaan (3) didapatkan nilai defleksi sebesar 4,694 mm.

b. Hasil Analisis Software FEM



Gambar 14. Analisis Defleksi dengan *Software*

Pada gambar 14 diketahui analisis menggunakan *software* didapatkan nilai defleksi sebesar 4,797 mm.

Tabel 5. Hasil Validasi Defleksi

Hasil Analisis	Hasil Perhitungan	Error
4,797 mm	4,694 mm	2,19 %

Berdasarkan hasil perbandingan pada tabel 5 antara perhitungan numerik secara manual berdasarkan persamaan 3 dengan hasil analisis defleksi menggunakan *software* didapatkan persentase nilai *error* sebesar 2,19%, dimana nilai *error* masih berada dibawah ambang batas 5% dan dapat dikatakan bahwa pembuatan geometri model pada *software FEM* sudah valid.

3.9. Mencari Tegangan Izin

Tegangan izin adalah nilai besaran yang dipakai untuk memprediksi besarnya tegangan supaya tidak melebihi tegangan batas, dimana

dalam menentukan nilai tegangan izin dengan memakai nilai dari *yield strength* material UPVC sebagai acuan penentuan tegangan izin. Dimana nilai *yield strength* dari UPVC sebesar 3,45 MPa.

Tabel 6. Validasi Hasil Tegangan dengan Tegangan Izin

Kondisi	σ maks (MPa)	Kriteria Tegangan Izin (MPa)	Keterangan
Air Tenang	0,1562	3,45	Memenuhi
Sagging	1,09	3,45	Memenuhi
Hogging	0,9635	3,45	Memenuhi

Dengan melihat tabel 6 dapat disimpulkan semua tegangan yang didapat dari hasil analisis respon struktur kapal UPVC dengan menggunakan *software FEM* memenuhi kriteria tegangan izin.

4. KESIMPULAN

Perancangan kapal pariwisata katamaran dengan menggunakan UPVC didapatkan sebuah rancangan rencana garis, rencana umum kapal dengan dimensi LOA 15,148 m, LBP 14,88 m, lebar 4,35 m, tinggi 1,7 m, sarat 0,74 m, CB 0,60 .

Pada hasil analisis tegangan struktur kapal dengan menggunakan *software FEM* didapatkan hasil pada kapal dengan kondisi air tenang 0,1562 MPa, kondisi *sagging* 1,09 MPa, kondisi *hogging* 0,9635 MPa, dimana nilai tegangannya masih dibawah nilai tegangan izin yaitu 3,45 MPa, yang mana dapat dikatakan aman beroperasi di wilayah perairan Danau Toba.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Mahulae, "Deskripsi Permasalahan Upaya Pengembangan Pariwisata Berkelanjutan Di Danau Toba Sumatera Utara", Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Sumatera Utara, vol. 16, no. 1, 2019.
- [2] D. Gultom, E. Sribudiani and S. Somadina, "Kriteria Pemilihan Jenis Kayu dalam Pembukaan Kapal Wisata Berdasarkan Pengetahuan Masyarakat Kelurahan untuk Siadong Kabupaten Samosir Provinsi Sumatera Utara", Wahana Foresta: Jurnal Kehutanan, vol. 15, 2020.
- [3] H. Subandi, Kiryanto and I. Mulyatno, "Perancangan Kapal Ikan Mini Purse Seine Displacement 11 Ton Tipe Katamaran Menggunakan Bahan Pipa PVC", Jurnal Teknik Perkapalan, vol. 4, 2016.

- [4] A. Zaidan, A. Candra, E. Phoebe and L. Jessica, "Pengaruh Desain Interior dalam Membangun Kepercayaan di Kantor Notaris", *Interior Design Department, Fakultas Teknologi dan Desain, BINUS University*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [5] A. Woldemariam, W. Oyawa and T. Nyomboi, "*Structural Performance of UPVC Confined Concrete Equivalent Cylinders Under Axial Compression Loads*", *Buildings*, vol. 9, no. 4, pp. 82, 2019.
- [6] J. Siagian, "Kajian Kekuatan Struktur dan Buckling pada Livestock Carrier Catamaran 1500 DWT dengan Metode Elemen Hingga", *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 3, 2020.
- [7] I. Arpi, A. F. Zakki, H. Yudo, "Analisa Respon Struktur *Parallel Middle Body* Pada Kapal Ternak Tipe Katamaran," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, pp. 262–269, 2019.
- [8] M. Nurazim, A. F. Zakki, B. Arswendo. "Studi Perancangan Sistem Konstruksi dan Analisa Kekuatan *Fish Processing Vessel* dengan Bentuk Lambung *Catamaran* pada Perairan Indonesia" *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol.9. no. 1, pp 32-44, 2021.
- [9] BKI, *Rules for Classification and Construction, Vol 5 Rules for Fibreglass Reinforced Plastic Ship*, 2021.
- [10] M. C. Xu, Z. J. Song, and J. Pan, "Study On Influence of Nonlinear Finite Element Method Models on Ultimate Bending Moment for Hull Girder," *Thin-Walled Struct.*, vol. 119, pp. 282–295, 2017
- [11] C. Daley, *Lecture Notes for Engineering 5003 - Ship Structures*. Canada: Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University.