

Analisis Konstruksi Kapal Ikan Berbahan *Fiber Reinforced Plastic* di Puger dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Pratama Yuli Arianto^{1*}, Awang Dika Pratama¹, Sumarji¹, Alfian Andhika Putra¹, Gaguk Jatisukanto²

¹ Program Studi Teknik Konstruksi Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Jember

² Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan No. 37 - Kampus Bumi Tegalboto, 159, Jember, Jawa Timur, 68121, Indonesia

*E-mail: pratamayariant@unej.ac.id

Abstrak

Sebagian besar kapal ikan yang digunakan oleh nelayan di Puger terbuat dari material *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP). Proses konstruksi kapal masih dilakukan secara tradisional, di mana desainnya didasarkan pada model kapal yang telah ada sebelumnya dan kemudian dimodifikasi. Akibatnya, kekuatan struktur kapal saat beroperasi di perairan Jember belum diketahui secara pasti. Oleh karena itu, diperlukan analisis untuk mengetahui batas kekuatan maksimum struktur kapal ketika membawa beban di laut. Penelitian ini dilakukan melalui studi lapangan, dengan pengukuran langsung terhadap kapal dan wawancara dengan nelayan setempat. Data yang diperoleh mencakup dimensi utama kapal, geometri, berat muatan, dan posisi muatan di atas kapal. Data tersebut kemudian digunakan dalam proses pemodelan untuk menentukan kondisi pembebanan yang dialami oleh kapal, yang selanjutnya disimulasikan menggunakan Ansys Workbench Academic 2024 Version R1. Hasil simulasi menghasilkan nilai tegangan *Von Mises* dan deformasi pada lima kondisi pembebanan yang berbeda. Tegangan ekuivalen yang dihasilkan berturut-turut untuk kondisi pembebanan 1 hingga 5 adalah sebesar 3,617 MPa, 2,8763 MPa, 2,8198 MPa, 3,4382 MPa, dan 3,2877 MPa. Sementara itu, deformasi yang dihasilkan untuk masing-masing kondisi adalah 0,41003 mm, 0,18602 mm, 0,17995 mm, 0,35096 mm, dan 0,30843 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan ekuivalen tertinggi terjadi pada kondisi pembebanan pertama, yaitu sebesar 3,617 MPa, yang masih berada di bawah tegangan izin material sebesar 9,46 MPa. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa konstruksi kapal ikan berbahan *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) yang dianalisis memenuhi syarat kekuatan struktural berdasarkan batas tegangan yang diizinkan.

Kata Kunci: Kapal Penangkap Ikan, *Fiber Reinforced Plastic*, Metode Elemen Hingga, Tegangan Maksimum

Abstract

Most fishing vessels used by fishermen in Puger are constructed from *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) material. The construction process is still carried out traditionally, where the design is based on existing vessel models and then modified. As a result, the structural strength of the vessels during operation in the waters of Jember remains uncertain. Therefore, an analysis is required to determine the maximum structural strength limit of the vessels when carrying loads at sea. This research was conducted through field studies, including direct measurements of the vessels and interviews with local fishermen. The collected data included the principal dimensions of the vessels, their geometry, load weight, and the position of the load on board. These data were then used in the modeling process to determine the loading conditions experienced by the vessel, which were subsequently simulated using Ansys Workbench Academic 2024 Version R1. The simulation results yielded Von Mises stress and deformation values for five different loading conditions. The equivalent stresses obtained for loading conditions 1 through 5 were 3.617 MPa, 2.8763 MPa, 2.8198 MPa, 3.4382 MPa, and 3.2877 MPa, respectively. Meanwhile, the corresponding deformation values were 0.41003 mm, 0.18602 mm, 0.17995 mm, 0.35096 mm, and 0.30843 mm. The results indicate that the highest equivalent stress occurred in the first loading condition, amounting to 3.617 MPa, which remains below the allowable stress of the material, i.e., 9.46 MPa. The results of this study indicate that the construction of the fishing vessel made of *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) meets the structural strength requirements based on the allowable stress limit.

Keywords: Fishing Boat, *Fiber Reinforced Plastic*, Finite Element Method, Maximum Stress

Nomenklatur:

F	: gaya (N).
m	: massa (kg).
g	: percepatan gravitasi (9,81 m/s ²).
P	: tekanan hidrostatik (N/m ²).
ρ	: massa jenis air laut (1025 kg/m ³).
h	: kedalaman titik ukur dari permukaan laut.
σ_1	: tegangan utama dalam arah x.
σ_2	: tegangan utama dalam arah y.
σ_3	: tegangan utama dalam arah z.

I. PENDAHULUAN

Kabupaten Jember merupakan salah satu wilayah di Jawa Timur dengan potensi bidang perikanan laut. Sektor perikanan terbesar berada di wilayah Puger yang telah didukung dengan fasilitas Pelabuhan perikanan dan Tempat Pelelangan Ikan (TPI) yang berada di muara sungai Bedadung. Dalam melakukan penangkapan ikan, nelayan Puger menggunakan kapal tradisional, dimana 89% dari total kapal yang digunakan berjenis Jukung [1], Kapal Jukung yang digunakan oleh mereka mayoritas dibuat dengan bahan *fiber*. Keunggulan dari bahan *fiber* adalah biaya perawatan yang lebih kecil, dan umur pakai kapal *fiberglass* bisa mencapai 20 tahun, lebih lama dibandingkan kapal kayu yang hanya sampai 10 tahun. Material *fiberglass* sering kali dikombinasikan dengan *carbon fiber* sebagai penguat lapisan untuk mencapai kekuatan maksimal [2].

Fiber Reinforced Plastic (FRP) adalah bahan heterogen yang terdiri dari resin *thermosetting* sebagai matriks dan bahan penguat [3]. *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) merupakan material campuran yang terdiri dari resin, serat kaca (*fiberglass*) dan juga *additive* yang bereaksi dan mengeras dalam waktu tertentu. Material ini memiliki kekuatan yang tinggi, tahan korosi, ringan dan juga mudah dibentuk karena bisa menyesuaikan dengan cetakan [4].

Kekuatan memanjang kapal adalah kekuatan kapal secara memanjang dalam menopang beban muatan yang dibawa dan beban dari kapal itu sendiri ketika kapal tersebut sedang berlayar dalam kondisi air tenang maupun bergelombang. Terdapat tiga jenis pembebanan yang bekerja pada kapal, yaitu tekanan hidrostatik air laut dibagian penampang yang tercelup, beban muatan, dan beban *longitudinal* yang mengakibatkan terjadinya lengkungan kapal (*bending*). Pada praktiknya pembagian pembebanan kapal tidak 100% teratur disetiap panjangnya, terutama pada kapal tradisional. Maka dari itu diperlukan konstruksi yang memenuhi kekuatan memanjang kapal. Konstruksi pada geladak meliputi pembujur geladak, penumpu geladak, dan pelat geladak. Pada konstruksi alas terdapat penumpu alas, pembujur alas, pelat alas, dan lunas kapal [5]. Konstruksi kapal FRP perlu dikaji dan dikembangkan untuk standarisasi kapal *fiberglass* yang beroperasi di wilayah Indonesia. Hal tersebut akan bermanfaat untuk meningkatkan mutu dan menjamin keselamatan kapal di laut [6].

Meskipun penggunaan material *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) pada kapal nelayan semakin umum, namun belum banyak penelitian yang secara langsung menganalisis

kekuatan struktur kapal nelayan, berdasarkan data lapangan dan kondisi operasi aktual [7]. Selain itu, mayoritas kapal masih dibangun secara tradisional tanpa validasi kekuatan menggunakan pendekatan simulasi numerik. Penelitian ini memiliki urgensi karena memberikan dasar ilmiah terhadap kekuatan struktural kapal nelayan lokal, yang sangat penting dikaji dan dikembangkan dalam rangka standarisasi kapal *fiberglass* yang beroperasi di wilayah kepulauan Indonesia, khususnya perairan Puger, sehingga kapal-kapal *fiberglass* memiliki standar mutu yang dapat menjamin keselamatan kapal di laut.

Metode elemen hingga merupakan metode numerik untuk menganalisis struktur baik berupa beban statik maupun dinamik, geometri sederhana maupun kompleks, ataupun model struktur dimensi satu, dimensi dua dan dimensi tiga [8]. Proses inti dari MEH adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian/elemen yang lebih kecil, sehingga didapatkan solusi yang lebih sederhana. Solusi elemen tersebut harus memenuhi ketentuan untuk menghasilkan nilai valid, seperti kontinuitas pada titik nodal dan antarmuka elemen [9]. Untuk melakukan analisis konstruksi dengan simulasi pada metode elemen hingga dapat menghitung nilai *Von Mises* yang mana merupakan perwujudan dari nilai maksimum tegangan yang terjadi pada struktur kapal [10]. Tegangan *Von Mises* apabila melebihi *yield strength*, maka material tersebut akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength*, dan jika *Von Mises* melebihi *ultimate strength* akan menyebabkan material tersebut pecah [11].

Penelitian ini menggunakan *software* Ansys Workbench Academic 2024 Version R1 untuk mensimulasikan dan memecahkan berbagai masalah keteknikan (*engineering*) secara numerik dengan metode elemen hingga. *Software* Ansys digunakan karena menyediakan versi *academic* yang bisa digunakan untuk melakukan simulasi tanpa memerlukan lisensi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur konstruksi kapal ikan berbahan *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) yang digunakan nelayan di Puger dengan menggunakan metode elemen hingga. Sehingga dapat mengetahui kekuatan struktur kapal ikan yang dipakai nelayan Puger dan bisa memberikan informasi kepada nelayan mengenai kekuatan struktur kapal ikan.

II. METODE PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa *principal dimensions*, geometri kapal, dan ketebalan masing-masing bagian kapal. Untuk memperoleh data tersebut, dilakukan survei ke Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Puger, Kecamatan Puger, Jember.

B. Metode Analisis Penelitian

Dalam melakukan analisis terdapat beberapa langkah yang dilakukan yaitu.

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur yang berhubungan dengan topik, studi literatur bersumber dari jurnal ilmiah, buku, artikel, serta internet yang bertujuan untuk memperdalam topik penelitian yang sedang diteliti dan juga sebagai referensi dalam menentukan metode yang tepat.

2. Pengumpulan Data dan Permodelan Kapal

Penelitian ini memerlukan data primer berupa dimensi utama dan geometri kapal yang digunakan sebagai dasar dalam pembuatan *lines plan* atau rencana garis. Pengukuran dilakukan secara manual menggunakan alat ukur seperti meteran, dengan penentuan koordinat pada setiap *Water Line* (WL) dan penampang (*section*) kapal. Data yang diperoleh kemudian dimanfaatkan untuk membangun model kapal menggunakan *software Maxsurf Modeler Academic*.

3. Perhitungan Beban

Proses perhitungan beban menggunakan bantuan *software Maxsurf Stability Academic* serta perhitungan manual. Perhitungan tersebut mencakup pencarian nilai *Light Weight Tonnage* (LWT) dan *Dead Weight Tonnage* (DWT) yang nantinya dijadikan dasar dalam pembagian *loadcase*. Sebanyak lima skenario pembebanan (*loadcase*) disusun sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh BKI, sehingga diperoleh variasi beban pada lima kondisi berbeda. Selanjutnya, dilakukan simulasi menggunakan *software maxsurf* untuk memperoleh nilai *net load* pada kapal. Nilai ini kemudian digunakan sebagai beban *input* dalam simulasi struktur di *Ansys Workbench*. Perhitungan pembebanan dilakukan dengan mengonversi nilai massa yang didapat dari LWT dan DWT dikonversikan ke dalam gaya dengan persamaan :

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

dengan F adalah gaya (N), m adalah massa (kg), dan g adalah percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Selain itu, untuk mengetahui distribusi tekanan hidrostatik akibat gaya apung, digunakan persamaan :

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (2)$$

dengan ρ adalah massa jenis air laut (1025 kg/m^3), g percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$), dan h kedalaman titik ukur dari permukaan laut.

4. Permodelan di Ansys Workbench Academic 2024 Version R1

Permodelan dilakukan menggunakan bantuan *software Ansys* dengan mengimport desain yang

telah dibuat. Proses ini memerlukan penyesuaian format file agar kompatibel pada *software Ansys Workbench*.

5. Validasi Model

Validasi model bertujuan untuk memastikan bahwa model yang telah dirancang tidak mengalami kegagalan saat proses *meshing*. Kegagalan dalam tahap *meshing* dapat menyebabkan proses *running* tidak menghasilkan *output* yang diharapkan.

6. Simulasi Ansys Static Structural

Setelah model berhasil divalidasi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap struktur konstruksi menggunakan perangkat lunak *Ansys Static Structural*. Tahap awal dimulai dengan pengisian data rekayasa (*engineering data*), yang mencakup mengenai jenis material dan sifat-sifat mekaniknya. Selanjutnya, dilakukan proses ekspor geometri desain ke dalam *software Ansys Workbench Academic 2024 Version R1*. Kemudian tahapan *meshing* dilakukan untuk membagi model kapal menjadi elemen-elemen hingga yang diperlukan dalam proses simulasi. Tahap berikutnya adalah setup, yaitu proses penentuan batas-batas tumpuan dan pemberian gaya kerja sesuai arah dan nilai yang dibutuhkan dalam simulasi. Setelah semua parameter ditentukan, simulasi dilanjutkan ke tahap *solution*, yang bertujuan untuk memilih jenis *output* atau hasil analisis yang ingin diperoleh. Terakhir, tahap *solve* dijalankan untuk memproses dan menampilkan hasil akhir dari simulasi berdasarkan data dan kondisi yang telah dimasukkan sebelumnya. Hasil utama dari simulasi berupa tegangan *equivalen* dihitung menggunakan pendekatan *Von Mises* dengan persamaan :

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (3)$$

di mana σ_1 , σ_2 , σ_3 adalah tegangan utama dalam arah x, y, dan z. Nilai tegangan ini dibandingkan dengan tegangan izin material untuk menilai kelayakan struktur.

7. Analisis dan Kesimpulan

Analisis dilakukan berdasarkan data hasil simulasi yang berfokus pada respons struktur kapal terhadap beban yang dikenakan. Sementara itu, kesimpulan diperoleh dengan mengacu pada rumusan masalah yang telah ditetapkan sebelumnya, serta didasarkan pada hasil analisis yang telah dilakukan.

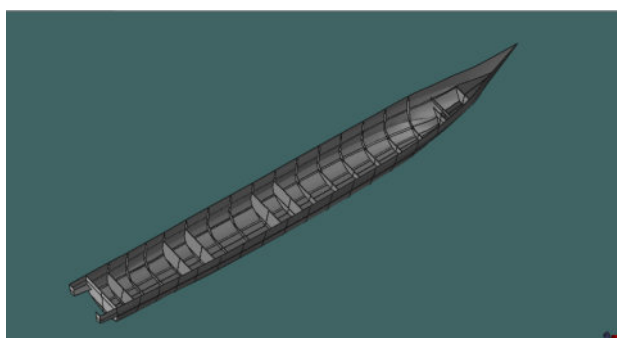
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Kapal

Hasil survei yang dilakukan menghasilkan ukuran utama kapal seperti dalam Tabel 1, survei juga mengukur titik koordinat disetiap *section* kapal sebagai acuan dalam menggambar model 3 dimensi kapal. sehingga didapatkan model kapal seperti dalam Gambar 1.

Tabel 1.
Ukuran Utama Kapal

Keterangan	Ukuran
Panjang Total (LOA)	11,86 m
Lebar (B)	0,68 m
Tinggi (H)	0,8 m
Sarat (T)	0,37 m
Coefficient Block (Cb)	0,572



Gambar 1. Model Kapal

B. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan ini meliputi DWT (*Deadweight Tonnage*) maupun LWT (*Lightweight Tonnage*) kapal, dimana data didapatkan dari hasil wawancara ke nelayan setempat mengenai muatan ikan, maupun hal lain yang berkaitan dengan bobot kapal. Sehingga didapatkan total DWT dan LWT seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 2.
Hasil Perhitungan DWT Kapal

No	Item	Nilai	Unit
1	Berat ABK	0,30	Ton
2	Berat tangki bahan bakar	0,02	Ton
3	Berat muatan ikan	1,50	Ton
4	Berat bawaan	0,05	Ton
	Total	1,87	Ton

Tabel 3.
Hasil Perhitungan LWT Kapal

No	Item	Nilai	Unit
1	Berat konstruksi lambung kapal		
	Luas alas	10,87	m^2
	Tebal alas	0,02	m
	Vshell laminasi alas (luas x tebal)	0,22	m^3
	Luas lambung	13,30	m^2
	Tebal lambung	0,01	m
	Vshell laminasi lambung	0,13	m^3
	Luas sekat, gading, penegar	7,90	m^2

	Tebal sekat, gading, penegar	0,005	m
	Vshell laminasi sekat, gading, penegar	0,04	m^3
	Total Vshell laminasi	0,39	m^3
	R fiber	2000	Kg/m^3
	Berat lambung kapal	779,53	Kg/m^3
2	Berat mesin kapal	0,17	Ton
3	Berat peralatan kapal	1,30	Ton
	Total	1,30	Ton

Hasil tersebut akan dijadikan acuan dalam pengondisian beban (*loadcase*) yang didasarkan pada aturan Badan Klasifikasi Indonesia [12], *loadcase* kapal dibagi menjadi 5 kondisi, sebagai berikut:

1. Kondisi 1

Kapal berangkat ke tempat penangkapan ikan dengan kondisi bahan bakar, konsumsi, alat tangkap, dan lainnya, dalam kondisi penuh tanpa hasil tangkapan ikan.

2. Kondisi 2

Kapal berangkat dari tempat penangkapan ikan dengan kondisi hasil tangkapan penuh, dan bawaan dan bahan bakar 80%.

3. Kondisi 3

Kapal tiba di Pelabuhan dengan bahan bakar dan bawaan tersisa 10%, dan tangkapan penuh.

4. Kondisi 4

Kapal tiba di pelabuhan dengan bawaan, bahan bakar, dan lainnya 10% serta hasil tangkapan minimal 20%.

5. Kondisi 5

Kapal tiba di pelabuhan dengan bawaan, bahan bakar, dan lainnya 10% serta hasil tangkapan minimal 40%.

Sehingga didapat 5 *loadcase* yang dapat dilihat pada Tabel 4 sampai Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 4.
Loadcase 1

LOADCASE 1						
Name	Long. Pos. m	Mass (t/m)	Buoyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear tonne	Moment (tonne.m)
Fr 1	0,049	0	-0,004	-0,004	0	0
Fr 2	0,5	0,025	-0,051	-0,027	-0,016	-0,003
Fr 3	1	0,053	-0,078	-0,025	-0,028	-0,013
Fr 4	1,5	0	-0,106	-0,106	-0,024	-0,025
Fr 5	2	0	-0,137	-0,137	-0,085	-0,053
Fr 6	2,6	0	-0,171	-0,171	-0,178	-0,130
Fr 7	3,2	0	-0,196	-0,196	-0,288	-0,271
Fr 8	3,8	0	-0,219	-0,219	-0,413	-0,482
Fr 9	4,4	0	-0,239	-0,239	-0,550	-0,769
Fr 10	5	0	-0,248	-0,248	-0,397	-1,081
Fr 11	5,6	0	-0,255	-0,255	0,752	-1,165
Fr 12	6,2	0	-0,260	-0,260	0,598	-0,757
Fr 13	6,8	0	-0,253	-0,253	0,444	-0,449
Fr 14	7,4	0	-0,237	-0,237	0,296	-0,227

Fr 15	8	0	-0,202	-0,202	0,163	-0,088
Fr 16	8,6	0	-0,130	-0,130	0,061	-0,022
Fr 17	9,2	0	-0,042	-0,042	0,011	-0,002
Fr 18	9,8	0	0	0	0	0
Fr 19	10,4	0	0	0	0	0

Tabel 5.
Loadcase 2

LOADCASE 2						
Name	Long. Pos. m	Mass (t/m)	Buoyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear tonne	Moment (tonne.m)
Fr 1	0,049	0	-0,028	-0,028	-0,001	0
Fr 2	0,5	0,016	-0,1	-0,084	-0,034	-0,007
Fr 3	1	0,037	-0,142	-0,105	-0,079	-0,034
Fr 4	1,5	0	-0,185	-0,185	-0,121	-0,083
Fr 5	2	0	-0,233	-0,233	-0,226	-0,17
Fr 6	2,6	0	-0,285	-0,285	-0,381	-0,35
Fr 7	3,2	0,136	-0,327	-0,19	-0,564	-0,632
Fr 8	3,8	0,299	-0,366	-0,068	-0,598	-0,981
Fr 9	4,4	0,309	-0,404	-0,095	-0,646	-1,353
Fr 10	5	0,308	-0,428	-0,12	-0,41	-1,698
Fr 11	5,6	0,305	-0,449	-0,144	0,81	-1,768
Fr 12	6,2	0,299	-0,465	-0,166	0,717	-1,308
Fr 13	6,8	0,284	-0,469	-0,185	0,611	-0,911
Fr 14	7,4	0,259	-0,461	-0,202	0,495	-0,578
Fr 15	8	0,215	-0,426	-0,21	0,371	-0,316
Fr 16	8,6	0,064	-0,333	-0,268	0,248	-0,13
Fr 17	9,2	0	-0,188	-0,188	0,093	-0,032
Fr 18	9,8	0	-0,068	-0,068	0,016	-0,003
Fr 19	10,4	0	0	0	0	0

Tabel 6.
Loadcase 3

LOADCASE 3						
Name	Long. Pos. m	Mass (t/m)	Buoyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear tonne	Moment (tonne.m)
Fr 1	0,049	0,05	-0,041	0,009	0,004	0
Fr 2	0,5	0	-0,086	-0,086	-0,026	-0,004
Fr 3	1	0	-0,124	-0,124	-0,079	-0,03
Fr 4	1,5	0	-0,163	-0,163	-0,151	-0,086
Fr 5	2	0,062	-0,208	-0,146	-0,241	-0,183
Fr 6	2,6	0,152	-0,257	-0,105	-0,303	-0,346
Fr 7	3,2	0,187	-0,295	-0,108	-0,367	-0,547
Fr 8	3,8	0,221	-0,332	-0,111	-0,433	-0,787
Fr 9	4,4	0,253	-0,366	-0,113	-0,5	-1,067
Fr 10	5	0,273	-0,387	-0,114	-0,568	-1,387
Fr 11	5,6	0,292	-0,406	-0,114	0,664	-1,547
Fr 12	6,2	0,307	-0,42	-0,112	0,596	-1,169
Fr 13	6,8	0,311	-0,421	-0,111	0,529	-0,832

Fr 14	7,4	0,304	-0,412	-0,107	0,464	-0,534
Fr 15	8	0,117	-0,376	-0,259	0,401	-0,275
Fr 16	8,6	0	-0,287	-0,287	0,198	-0,098
Fr 17	9,2	0	-0,149	-0,149	0,069	-0,022
Fr 18	9,8	0	-0,053	-0,053	0,011	-0,001
Fr 19	10,4	0	0	0	0	0

Tabel 7.
Loadcase 4

LOADCASE 4						
Name	Long. Pos. m	Mass (t/m)	Buoyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear tonne	Moment (tonne.m)
Fr 1	0,049	0,05	-0,001	0,049	0,005	0
Fr 2	0,5	0	-0,016	-0,016	0,001	0,002
Fr 3	1	0	-0,039	-0,039	-0,012	0
Fr 4	1,5	0	-0,067	-0,067	-0,039	-0,013
Fr 5	2	0,005	-0,1	-0,095	-0,078	-0,041
Fr 6	2,6	0	-0,138	-0,138	-0,15	-0,109
Fr 7	3,2	0,011	-0,17	-0,159	-0,24	-0,225
Fr 8	3,8	0,028	-0,199	-0,171	-0,339	-0,399
Fr 9	4,4	0,047	-0,227	-0,18	-0,445	-0,634
Fr 10	5	0,058	-0,243	-0,185	-0,554	-0,933
Fr 11	5,6	0,069	-0,257	-0,188	0,634	-1,098
Fr 12	6,2	0,08	-0,269	-0,189	0,521	-0,752
Fr 13	6,8	0,086	-0,27	-0,184	0,409	-0,473
Fr 14	7,4	0,084	-0,26	-0,176	0,301	-0,261
Fr 15	8	0,03	-0,229	-0,2	0,199	-0,111
Fr 16	8,6	0	-0,158	-0,158	0,08	-0,03
Fr 17	9,2	0	-0,058	-0,058	0,017	-0,004
Fr 18	9,8	0	-0,008	-0,008	0,001	0
Fr 19	10,4	0	0	0	0	0

Tabel 8.
Loadcase 5

LOADCASE 5						
Name	Long. Pos. m	Mass (t/m)	Buoyancy (t/m)	Net Load (t/m)	Shear tonne	Moment (tonne.m)
Fr 1	0,049	0	-0,002	-0,002	0	0
Fr 2	0,5	0	-0,036	-0,036	-0,01	-0,002
Fr 3	1	0,001	-0,067	-0,066	-0,033	-0,012
Fr 4	1,5	0	-0,102	-0,102	-0,07	-0,038
Fr 5	2	0	-0,142	-0,142	-0,132	-0,088
Fr 6	2,6	0	-0,188	-0,188	-0,231	-0,196
Fr 7	3,2	0,017	-0,226	-0,209	-0,355	-0,37
Fr 8	3,8	0,061	-0,262	-0,201	-0,473	-0,622
Fr 9	4,4	0,086	-0,296	-0,211	-0,596	-0,94
Fr 10	5	0,103	-0,318	-0,214	-0,424	-1,275
Fr 11	5,6	0,121	-0,337	-0,216	0,747	-1,37
Fr 12	6,2	0,137	-0,353	-0,216	0,617	-0,958
Fr 13	6,8	0,147	-0,356	-0,209	0,489	-0,63

Fr 14	7,4	0,147	-0,348	-0,201	0,366	-0,372
Fr 15	8	0,13	-0,316	-0,186	0,249	-0,186
Fr 16	8,6	0,04	-0,233	-0,193	0,147	-0,068
Fr 17	9,2	0	-0,111	-0,111	0,045	-0,013
Fr 18	9,8	0	-0,024	-0,024	0,005	-0,001
Fr 19	10,4	0	0	0	0	0

Analisis pembebanan dilakukan terhadap lima skenario kondisi operasi kapal (*loadcase*) berdasarkan variasi jumlah bahan bakar, perbekalan, dan hasil tangkapan. Secara umum, pola distribusi *net load* di semua *loadcase* menunjukkan nilai tertinggi pada bagian tengah kapal, khususnya sekitar *frame* 10–11, yang merupakan titik paling kritis dalam struktur. Pada *loadcase* 1 tercatat bahwa *net load* pada *frame* 11 sebesar -0,255 t/m, dan menunjukkan nilai *shear* dan *moment* sebesar 0,725 ton dan -1,165 ton.m. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi beban perbekalan dan bahan bakar penuh saat kapal berangkat tanpa membawa tangkapan. Momen negatif yang besar ini menunjukkan tendensi lentur ke bawah di tengah kapal akibat distribusi massa berat tanpa penyeimbang dari tangkapan.

Untuk kasus *loadcase* 2 pada kondisi kapal dalam perjalanan pulang dengan muatan tangkapan penuh dengan sisa BBM 80% didapatkan bahwa, nilai *net load* meningkat hingga -0,285 t/m pada *Frame* 6, dan cenderung tetap tinggi hingga *Frame* 11. Pola *shear* menunjukkan akumulasi negatif hingga *Frame* 9 (-0,646 ton) dan kemudian berubah menjadi positif pada *Frame* 11 ke atas. Momen lentur terbesar adalah -1,768 ton.m terjadi di tengah kapal.

Pada *loadcase* 3 saat kapal tiba di pelabuhan dengan bahan bakar dan bawaan tersisa 10%, dan tangkapan penuh, didapatkan bahwa. Nilai *net load* pada *frame* 11 sebesar -0,114 t/m dengan nilai *shear* mirip pada *loadcase* 2 negatif hingga *frame* 10, lalu positif setelahnya. Nilai momen maksimum adalah -1,547 ton.m, menunjukkan titik lentur paling signifikan juga masih berada di tengah kapal.

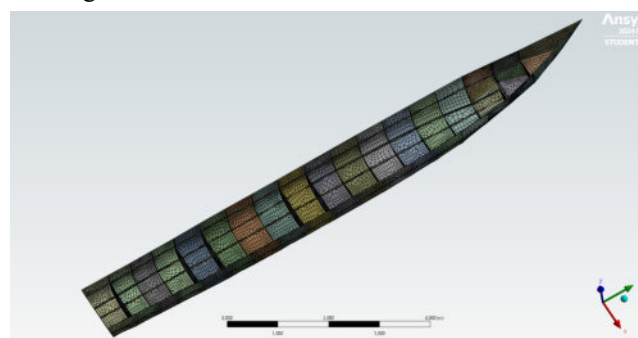
Kasus *loadcase* 4 dengan kondisi kapal tiba di pelabuhan dengan bawaan, bahan bakar, dan lainnya 10% serta hasil tangkapan minimal 20%, menunjukkan nilai *net load frame* 11, yaitu -0,188 t/m. Nilai *shear* negatif berubah ke positif di *Frame* 11, dengan nilai puncak *shear* 0,634 ton, sedangkan momen tertinggi adalah -1,098 ton.m.

Sedangkan pada kasus terakhir *loadcase* 5 dengan kondisi kapal tiba di pelabuhan dengan bawaan, bahan bakar, dan lainnya 10% serta hasil tangkapan minimal 40%, didapatkan nilai *net load* masih negatif di tengah, mencapai -0,216 t/m di *Frame* 11. *Shear force* berpola sama, dari negatif menuju positif pada *Frame* 11, dan momen lentur maksimum -1,37 ton.m. Beban cenderung stabil dan struktur mengalami gaya yang moderat. Ini menunjukkan bahwa kondisi akhir operasi lebih aman dibanding awal (*loadcase* 1), namun tetap menghasilkan tegangan yang harus ditahan struktur tengah kapal.

C. Pemodelan Kapal

Model/*geometry* kapal yang telah dibuat diimport ke Ansys Workbench Academic 2024 Version R1 untuk

dilakukan simulasi *static structural*. *Geometry* yang telah diimport kemudian dilakukan *meshing* atau pembagian *geometry* menjadi elemen kecil untuk mengetahui bahwa model tersebut dapat dijalankan saat melakukan simulasi. Hasil mesing ditunjukkan pada Gambar 2. Kemudian dilakukan *engineering data* sesuai material yang dirujuk dari saputra, dkk [13], dimana nilai *yield strength* dan *tensile strength* secara berurutan sebesar 9,67 Mpa dan 11,07 Mpa. Pemodelan dilakukan dengan kombinasi metode *Quad Dominant* dan *Sweep*, menghasilkan mesh berupa elemen QuadShell4 (empat *node*) sebanyak 17.883 elemen, dan elemen TriShell3 (tiga *node*) sebanyak 473 elemen, dengan total elemen sebanyak 18.356 dan jumlah *node* sebanyak 22.765. Penggunaan elemen *shell* memungkinkan analisis yang efisien dan akurat terhadap respons pelat struktur tipis. Ukuran elemen (*mesh size*) yang digunakan adalah 43 mm secara global.



Gambar 2. Model *Geometry* Setelah *Meshing*

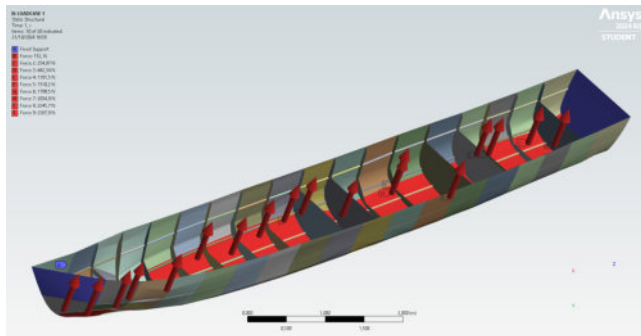
Pemberian beban disesuaikan dengan *loadcase* yang telah didapatkan nilai *net load* setiap *frame*, dimana titik pusat pembebanan dan arahnya akan dibagi sesuai dengan nilai *net load*. Dalam analisis *static structural* nilai *net load* disetiap *loadcase* yang sebelumnya memiliki satuan t/m perlu dikonversikan menjadi gaya beban (*force*) yaitu menjadi N (newton). Hasil konversi dapat dilihat pada Tabel 9. Sementara tumpuan berada di ujung haluan maupun buritan dari kapal. Gambar pemberian beban dan batas dapat dilihat pada Gambar 3. Pemberian beban hidrostatik disesuaikan dengan massa jenis air laut, percepatan gravitasi, dan sarat kapal. Dimana massa jenis air senilai 1025kg/m³, percepatan gravitasi 9,8 m/s², dan sarat kapal 0,37 m.

Tabel 9.

Net Load

No	<i>Net Load (N)</i>				
	<i>Loadcase1</i>	<i>Loadcase2</i>	<i>Loadcase3</i>	<i>Loadcase4</i>	<i>Loadcase5</i>
1	2255,53	1603,39	-377,56	161,81	88,26
2	-402,07	-1265,06	-1029,70	-269,68	-402,07
3	-539,37	-1569,06	-1407,25	-519,75	-696,27
4	-730,60	-1564,16	-1515,13	-794,34	-995,37
5	-1113,05	-1265,06	-1230,73	-1142,47	-1255,25
6	-1471,00	-1103,25	-1044,41	-1456,29	-1421,96
7	-1691,65	-1132,67	-1073,83	-1618,10	-1505,32
8	-1887,78	-1157,18	-1098,34	-1721,07	-1569,06
9	-2015,27	-1171,89	-1113,05	-1789,71	-1613,19
10	-2079,01	-1171,89	-1117,96	-1828,94	-1632,81
11	-2128,04	-1162,09	-1108,15	-1848,55	-1637,71
12	-2123,14	-1142,47	-1088,54	-1828,94	-1618,10
13	-2025,07	-1113,05	-1064,02	-1765,20	-1564,16
14	-1789,71	-1799,52	-1794,62	-1843,65	-1828,94

15	-1318,99	-2598,76	-2677,22	-1755,39	-2010,36
16	-647,24	-2025,07	-2137,85	-1059,12	-1343,51
17	-147,10	-902,21	-990,47	-323,62	-480,53
18	-4,90	-225,55	-259,88	-39,23	-83,36



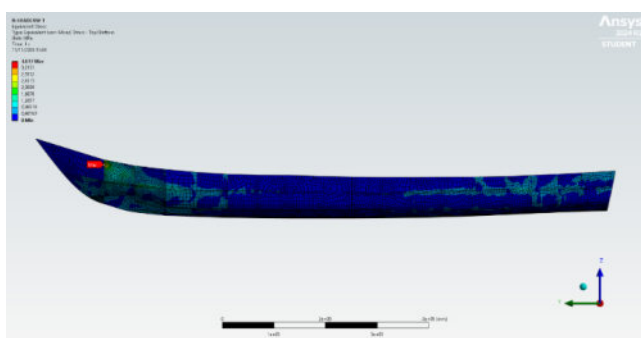
Gambar 3. Kondisi Pembebanan Dan Batas

D. Hasil Analisis Kekuatan Konstruksi

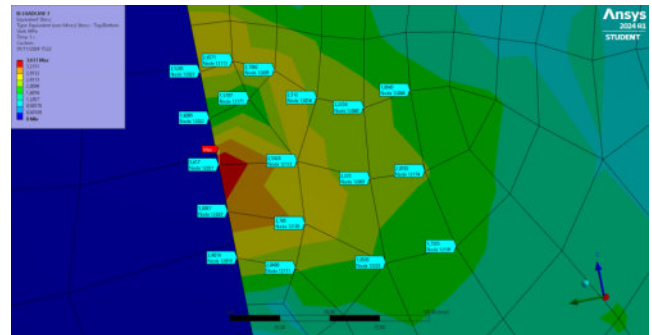
Pada Tabel 10 menunjukkan nilai hasil simulasi yang telah dilakukan pada masing-masing *loadcase*, dimana nilai *equivalent stress* terbesar terjadi pada kondisi *loadcase* 1 sebesar 3,617 MPa, dengan deformasi yang terjadi sebesar 0,41003 mm. Titik lokasi terjadinya *equivalent stress* berada di haluan kapal seperti yang ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Pada Gambar 6 merupakan deformasi yang terjadi di *loadcase* 1.

Tabel 10.
Hasil Analisis

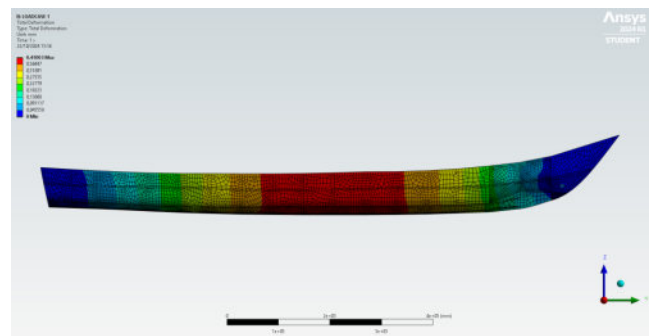
<i>Loadcase</i>	<i>Equiv. Stress</i>	Deformasi
1	3,617 MPa	0,41003 mm
2	2,8763 MPa	0,18602 mm
3	2,8198 MPa	0,17995 mm
4	3,4382 MPa	0,35096 mm
5	3,2877 MPa	0,30843 mm



Gambar 4. Hasil *Equivalent Stress* Loadcase 1

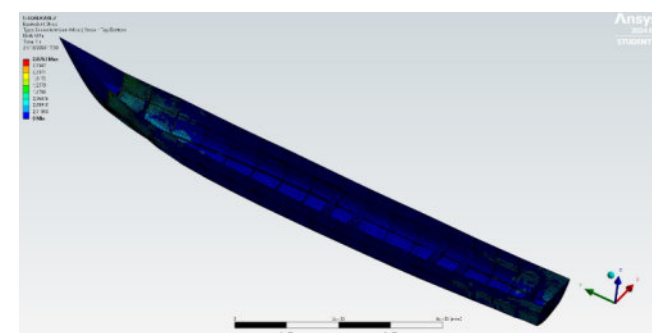


Gambar 5. Lokasi *Maximum Equivalent Stress* Yang Terjadi

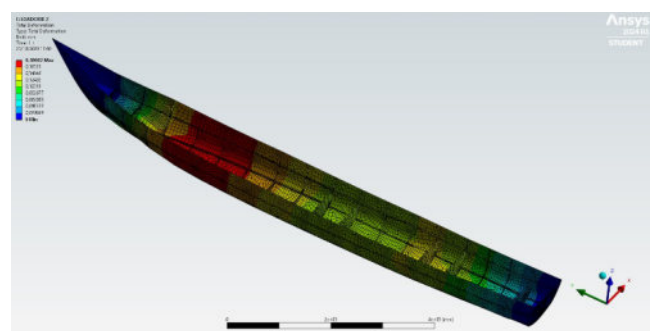


Gambar 6. Deformasi Yang Terjadi Pada *Loadcase* 1

Pada Gambar 7 lokasi terjadinya *equivalent stress* berada di haluan kapal kurang lebih sama dengan *loadcase* sebelumnya tetapi memiliki nilai yang jauh berbeda, nilai *equivalent stress* pada *loadcase* 2 sebesar 2,8763 MPa. Kemudian pada Gambar 8 menunjukkan hasil deformasi dengan nilai maksimal sebesar 0,18602 mm.

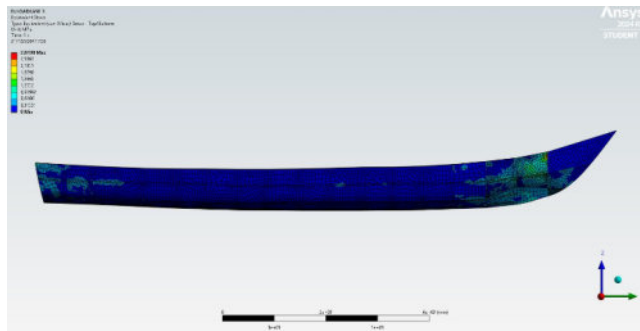


Gambar 7. Hasil *Equivalent Stress* Loadcase 2

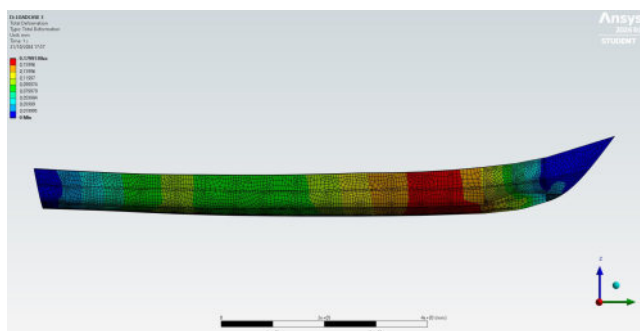


Gambar 8. Deformasi Yang Terjadi Pada *Loadcase 2*

Gambar 9 dan 10 secara berturut-turut menunjukkan hasil simulasi *equivalent stress* dan deformasi pada *loadcase 3* dengan nilai 2,8198 MPa dan 0,17995 mm. Untuk lokasi *equivalent stress* dan deformasinya berada pada haluan kapal, dibandingkan dengan *loadcase* awal, nilai *equivalent stress* dan deformasinya jauh berkurang, hal ini disebabkan karena perbedaan kondisi simulasi dan juga pembebanan.

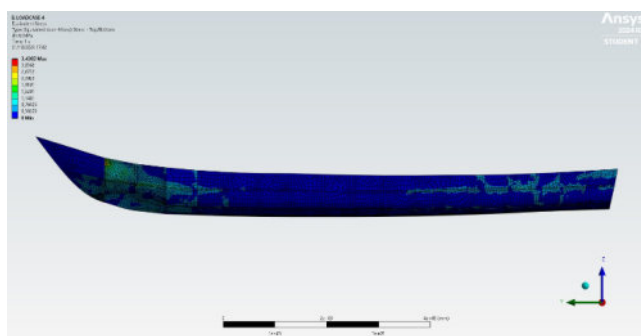


Gambar 9. Hasil *Equivalen Stress Loadcase 3*

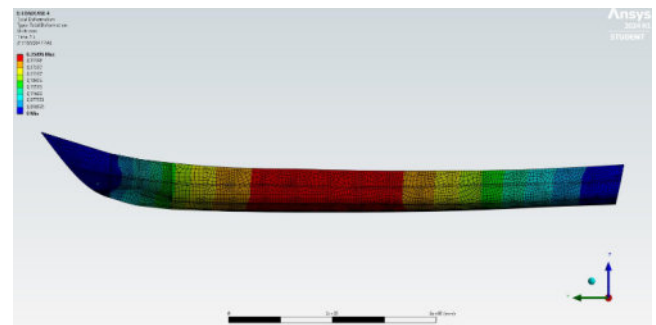


Gambar 10. Deformasi Yang Terjadi Pada *Loadcase 3*

Gambar 11 merupakan hasil simulasi *equivalent stress* pada *loadcase 4* dengan nilai 3,4382 MPa, kemudian Gambar 12 merupakan hasil simulasi yang menunjukkan deformasi pada *loadcase 4* dengan nilai 0,35096 mm. Jika dibandingkan dengan *loadcase 2* dan 3 ini termasuk nilai yang cukup besar, hal ini dipengaruhi kondisi dan juga pembebanan yang berbeda.

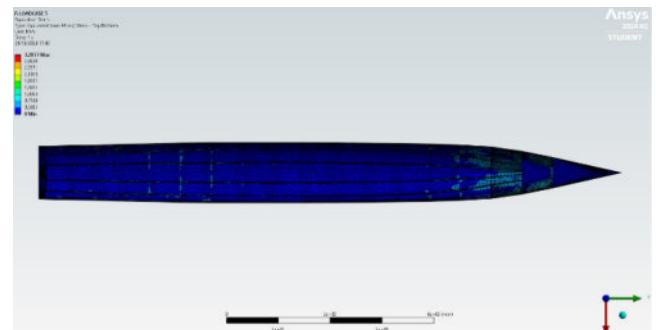


Gambar 11. Hasil *Equivalen Stress Loadcase 4*

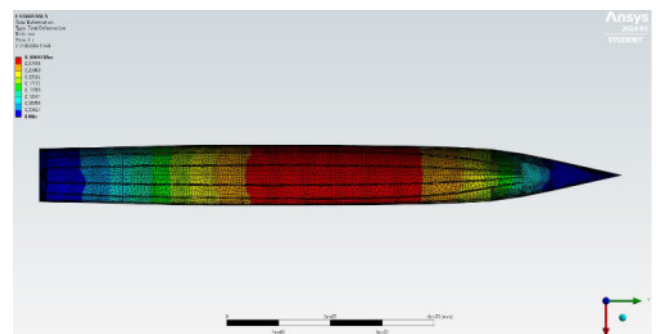


Gambar 12. Deformasi Yang Terjadi Pada *Loadcase 4*

Loadcase 5 merupakan *loadcase* terakhir pada penelitian ini, setelah dilakukan simulasi didapatkan nilai *equivalent stress* sebesar 3,2877 MPa dan deformasi 0,30843 mm. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi kapal yang berbeda dan juga pembebanan yang berbeda, untuk gambar hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Hasil *Equivalen Stress Loadcase 5*



Gambar 14. Deformasi Yang Terjadi Pada *Loadcase 5*

Tabel 11.
Perhitungan Tegangan Izin Menurut Kriteria Material

Loadcase	Tegangan Maksimal (MPa)	Tegangan Izin (MPa)	Faktor Keamanan	Status
1	3,617	9,46	2,615	Memenuhi
2	2,876	9,46	3,289	Memenuhi
3	2,820	9,46	3,355	Memenuhi
4	3,438	9,46	2,751	Memenuhi
5	3,288	9,46	2,877	Memenuhi

Nilai tegangan yang sudah didapat tersebut akan dilakukan analisis tegangan izin menurut Biro Klasifikasi Indonesia(BKI) [14], nilai tegangan *von mises* maksimal yang diizinkan tidak boleh melebihi nilai *upper yield point* (ReH) material yang dipakai. Dimana nilai ReH material diketahui sebesar 9,46 MPa. Tabel 11 menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimal dari hasil simulasi yang dilakukan memiliki tegangan dibawah nilai yang diizinkan berdasarkan kriteria material. Berdasarkan data tersebut nilai faktor keamanan melebihi angka 1 dari tegangan yang bekerja. Suatu struktur dikatakan aman apabila nilai faktor keamanan lebih besar daripada 1 [15]. Sehingga dapat dikatakan bahwa tegangan yang bekerja mampu menahan pembebanan yang diberikan, tanpa mengalami kerusakan pada konstruksinya.

Berdasarkan hasil penelitian ini, studi selanjutnya dapat difokuskan pada analisis variasi beban gelombang *irregular* dengan mempertimbangkan arah datang dan tinggi gelombang yang berbeda-beda [16] [17]. Selain itu, penelitian terkait variasi material *fiber* menuju material *sandwich* dengan kekuatan yang lebih tinggi juga dapat dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan sifat mekanik yang dihasilkan [18]. Penggunaan *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) ke depan tidak hanya terbatas pada kapal ikan, namun juga perlu diaplikasikan pada jenis kapal lainnya guna mengevaluasi sejauh mana efektivitas material FRP dalam berbagai kondisi dan aplikasi [19].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap konstruksi kapal ikan berbahan *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) menggunakan metode elemen hingga pada konstruksi kapal ikan Puger, dapat disimpulkan bahwa beban paling kritis secara struktural terjadi pada *Loadcase* 1, yaitu saat kapal berangkat menuju lokasi penangkapan ikan dengan kondisi muatan penuh tanpa hasil tangkapan. Pada kondisi ini, nilai tegangan *equivalen* (*Von Mises*) mencapai 3,617 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,41003 mm. *Loadcase* 2 hingga 5, yang mencerminkan kondisi kapal membawa hasil tangkapan dengan variasi muatan, menunjukkan nilai tegangan dan deformasi yang lebih rendah dibandingkan *Loadcase* 1, namun tetap berada di bawah tegangan izin material (9,46 MPa). Nilai tegangan ekuivalen pada *loadcase* lainnya adalah 2,8763 MPa, 2,8198 MPa, 3,4382 MPa, dan 3,2877 MPa secara berurutan. Seluruh nilai deformasi juga masih tergolong kecil, dengan rentang antara 0,17995 mm hingga 0,35096 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapal tersebut memenuhi tegangan yang diizinkan, dimana tegangan izin material memiliki nilai 9,46 MPa, yang menghasilkan *safety factor* 2,615.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan dan penyusunan penelitian ini, khususnya kepada para narasumber di lapangan, serta pihak yang telah

membantu dalam pengumpulan data dan analisis. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jember atas dukungan baik dalam bentuk fasilitas maupun pendanaan, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Akhir kata, penulis berharap hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Putri, "Studi Kapal Jukung Berbahan Kayu dan Fiber di Pelabuhan Perikanan Pantai Puger Kecamatan Puger Kabupaten Jember Jawa Timur," 2018, *Universitas Brawijaya*.
- [2] R. N. Ichsan, "Pengaruh susunan lamina komposit berpenguat serat e-glass dan serat carbon terhadap kekuatan tarik dengan matrik polyester," *J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 03, 2015.
- [3] B. K. Indonesia, "Guidance for FRP and Wooden Fishing Vessel Up To 24 m," *Jakarta BKI*, 2015.
- [4] S. Ardhy, M. E. E. Putra, and I. I. Islahuddin, "Pembuatan Kapal Nelayan Fiberglass Kota Padang Dengan Metode Hand Lay Up," *Rang Tek. J.*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [5] I. K. Djaya, "Teknik Konstruksi kapal baja," *Jakarta Direktorat Pembina. Sekol. Menengah Kejuru. Dep. Pendidik. Nas.*, 2008.
- [6] I. Marzuki, "Kajian Standarisasi Struktur Konstruksi Lambung Kapal Ikan Fiberglass 3 GT," 2017, *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- [7] S. D. A. Purba, I. P. Mulyatno, and A. Firdhaus, "Analisis Hull Strength Kapal Ikan 5 GT Bahan Fiberglass Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 2, 2024.
- [8] O. Rahardjo, A. Maydino, and A. Cahyo, "STANDARDISASI LAMINASI FRP LAMBUNG KAPAL PENANGKAP IKAN 3 GT LAMINATION STANDARD FOR FRP HULL FISHING VESSEL 3 GT," *J. Stand.*, vol. 19, no. 3, pp. 255–264, 2018.
- [9] H. Isworo and P. R. Ansyah, "Buku ajar metode elemen hingga HMKB654," *Univ. Lambung Mangkurat*. https://mesin. ulm. ac. id/assets/dist/bahan/MEH_Buku_Ajar_full.pdf, 2018.
- [10] B. Budianto, "Analisis Kekuatan Struktur Pada Kapal Wisata Sungai Kalimas," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 12, no. 1, pp. 9–18, 2015.
- [11] I. Permana and D. Setyawan, "Analisis Kekuatan Konstruksi Alas Kapal Akibat Grounding," 2019, *Sepuluh Nopember Institute of Technology*.
- [12] [BK] Biro Klasifikasi Indonesia, "Guidance for FRP and Wooden Fishing Vessel up to 24 M Consolidated Edition 2022," 2022.
- [13] D. O. Saputa, F. Setiawan, and D. Wicaksono, "THE EFFECT OF VARIATION OF TEMPERATURE ON PULL TEST OF FIBERGLASS FIBER COMPOSITE MATERIALS WITH VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION (VARI)," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 9, no. 1, pp. 128–137, 2023.
- [14] B. K. Indonesia, "Volume II Rules for Hull," 2014.
- [15] M. H. Pratama, H. Yudo, and I. P. Mulyatno, "Analisis Kekuatan Konstruksi Car Deck Kapal Penyeberangan 1000GT Akibat Perubahan Muatan Dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 426–434, 2020.
- [16] P. Y. Arianto, A. Sulisetyono, and T. Putranto, "Analysis of stress due to wave load on the corvette warship," *SENTA Int. Conf. Mar. Technol.* 2017, vol. 1, no. i, pp. 91–98, 2017.
- [17] P. Y. Arianto, A. Sulisetyono, and T. Putranto, "Analisis Tegangan Akibat Beban Gelombang pada Struktur Kapal Perang Tipe Corvette," *Diss. Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2016.
- [18] P. Y. Arianto, A. Zubaydi, and B. Piscesa, "Experimental and numerical bending analysis of steel/resin-talk sandwich material," *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 30, no. 3, pp. 123–128, 2019.
- [19] P. Y. Arianto, A. A. Masroeri, N. A. C. Dewi, W. Sakinah, and P. G. Widitoyo, "Perencanaan rumah sakit terapung berbahan kayu untuk daerah kepulauan," *J. Ilmu Kelaut. Kepul.*, vol. 5, no. 2, 2022.

