

## Desain Dan Analisis Kekuatan Struktur Kontruksi Kapal Patroli 13 Meter Menggunakan *Finite Element Method* (FEM)

Rahmat Rosid<sup>1\*</sup>, Mardi Santoso<sup>2</sup>, Benedicta Dian Alfanda<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

Email: [rahmatrosid@student.ppns.ac.id](mailto:rahmatrosid@student.ppns.ac.id)<sup>\*</sup>; [mardisantoso@gmail.com](mailto:mardisantoso@gmail.com)<sup>2\*</sup>; [benedictadian@ppns.ac.id](mailto:benedictadian@ppns.ac.id)<sup>3\*</sup>

---

**Abstract** - In the process of maintaining security and maintenance of the approach lighting system (ALS) at the airport area in Natuna which was built on the Natuna coast. So we need a patrol boat that can meet the criteria in terms of the strength of the ship's structure to maneuver properly and accept internal and external loads. Structural capabilities that are sufficiently safe are permitted according to BKI rules for ships made of fiberglass reinforced plastic. Case of slamming loading, it will be analyzed whether it is sufficiently safe in terms of the strength of the construction structure on the 13-meter patrol boat that loading may occur due to ship operations in the area around the airport. The initial calculation is to calculate the scantling with a scantling weight of 2,226 tons and then draw the construction in accordance with the lines plan and general arrangement of the 13 meter patrol boat. Followed by the provision of a static load from slamming loading of 15,237 KPa when the ship is at full speed of 20 knots to find out the response from the ship's construction made of FRP. The value analyzed is the maximum stress (von mises) using the Finite Element Method (FEM) with static structural analysis and slamming loading in the form of pressure on the software as the method chosen in this study. Then raises the stress value in the ANSYS software, the maximum stress value that occurs in the construction is 13.808 MPa and from this maximum stress value the safety factor value can be calculated to find out how safe the ship's construction is if it is given a slamming load on the ship. The safety factor value in this study is 7,097. From the value of the safety factor it is known that the ship is still able to accept slamming loads at full speed.

**Keyword:** Patrol Boat, Scantling, Slamming Load, Stress.

---

### Nomenclature

$\sigma_B$	: Bending strength (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_T$	: Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )
$t_k$	: Tebal keel (mm)
$t_s$	: Tebal side shell (mm)
$t_b$	: Tebal bottom shell (mm)
$t_d$	: Tebal deck (mm)
$t_f$	: Tebal bulkhead (mm)
$C_{Bhd}$	: Koefisien bulkhead
$\rho$	: Massa jenis air (kg/m <sup>3</sup> )
$W$	: Modulus (cm <sup>3</sup> )
$I$	: Momen inersia (cm <sup>4</sup> )
$P_s$	: Beban Slamming (kPa)
$k$	: Koefisien slamming
$V_{br}^2$	: Kecepatan vertikal haluan (m/s)

$\theta$  : Derajat waktu langkah putaran

### 1. PENDAHULUAN

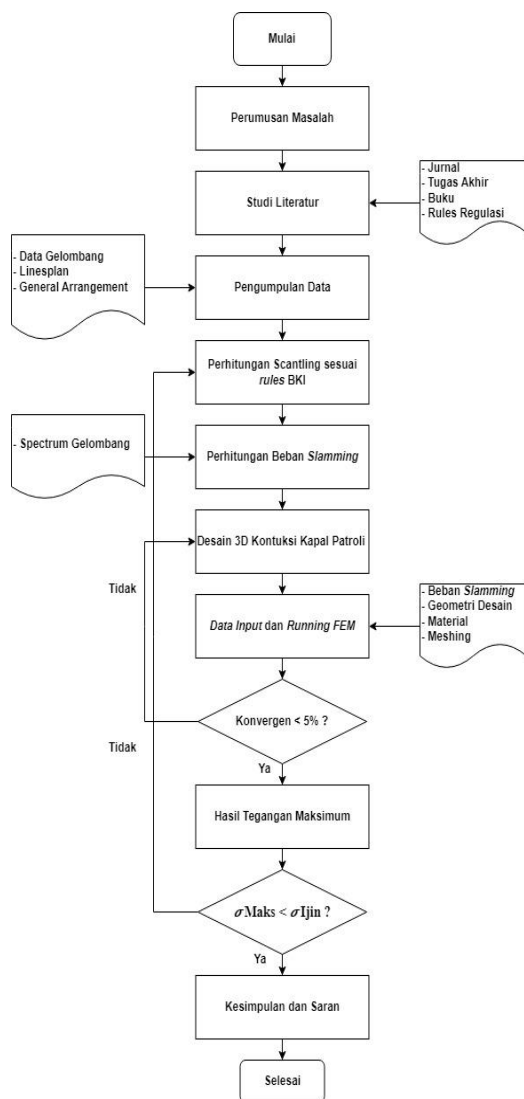
Pada penelitian analisis kekuatan struktur kontruksi didapatkan nilai berat scantling kontruksi kapal patrol 13 meter sebesar 2.226 ton dengan nilai beban slamming yang terjadi pada desain kontruksi sebesar 15.237 kPa pada kondisi full speed kapal. Hasil running software finite element didapatkan nilai tegangan von mises sebesar 13.808 MPa. Setelah itu dapat dihitung nilai safety factor sebesar 7.097 dengan kategori kapal masih dalam kondisi aman setelah menerima pembebanan slamming. [1].

Berdasarkan penelitian ini, input analisis yaitu melakukan perhitungan scantling untuk desain kontruksi yang digunakan pada

pemodelan 3D konstruksi sesuai dengan *rules* BKI sebagai acuan dalam penentuan dimensi dari konstruksi [2] dan perhitungan nilai beban *slamming* [3]. Pada penelitian ini akan dilakukan *running software finite element* [4] terhadap pemodelan 3D yang sudah didesain dan pemberian beban *slamming* berupa *pressure* pada keel haluan kapal. [5]. Dengan *running software finite element* didapatkan nilai dari tegangan *von mises* menggunakan *Finite Element Method* (FEM) [6]. Penelitian menggunakan metode FEM dapat digunakan untuk menentukan nilai maksimum tegangan (*von mises*) dan menggambarkan area yang mengalami tegangan maksimum yang terjadi pada model 3D.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian sangat diperlukan diagram alir untuk mengetahui proses secara runtut dari sebuah penelitian. Diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Runtutan proses penelitian

### 2.1 Principal Dimention Kapal

Data ukuran utama kapal yang akan dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut :

LOA	:	13 m
LPP	:	11.67 m
T	:	0.6 m
B	:	3.6 m
H	:	1.5 m
Vs	:	20 knot
Type	:	Patrol

### 2.2 Perhitungan Scantling Kontruksi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *scantling* kapal sesuai dengan *rules* BKI volume V yang mengatur tentang kapal berbahan *fiberglass reinforced plastic* (FRP). Pada tahap ini diperlukan *principal dimention* kapal sebagai data input pada perhitungan *scantling* dan pada saat mendesain konstruksi kapal setelah didapatkan hasil perhitungan *scantling*, dilanjutkan melihat data *linesplan* dan juga *general arrangement* sebagai acuan untuk mengaplikasikan hasil *scantling* pada konstruksi yang ada pada *linesplan* dan *general arrangement* yang belum terdapat ukuran konstruksinya.

### 2.3 Perhitungan Nilai Beban Slamming

Pada tahap ini dilakukan perhitungan nilai beban *slamming* yang dapat diketahui dengan mencari nilai kecepatan *vertical* haluan ekstrim pada konstruksi. Setelah itu baru bisa dilakukan perhitungan beban *slamming* yang terjadi pada konstruksi.

### 2.4 Desain Kontruksi

Pada tahap ini dilakukan desain konstruksi 2D menggunakan *software AutoCAD* setelah diketahui ukuran konstruksi kapal dari proses perhitungan *scantling*. Setelah dilakukan desain 2D konstruksi kapal patroli 13 meter maka selanjutnya melakukan desain 3D konstruksi kapal patroli 13 meter menggunakan *software ANSYS* sebagai input data untuk menganalisa kekuatan struktur konstruksi akibat pembebanan *slamming* pada *software ANSYS*.

### 2.5 Engineering Data

Setelah dilakukan tahap pemodelan dan meshing, selanjutnya memasukkan peletakan material konstruksi yang terdistribusi pada kapal sesuai dengan model *engineering data*. *Engineering data* merupakan sekumpulan informasi yang dijadikan seseorang untuk merancang atau membangun produk akhir yang diusulkan. Informasi *engineering data* dapat berupa gambar, spesifikasi produk, dan standar. Pada tahap ini material *fiberglass reinforced*

plastic (FRP) juga di-input pada software ANSYS.

### 2.6 Perhitungan Nilai Safety Factor

Pada tahap ini dilakukan perhitungan nilai *safety factor* yang akan dihitung dengan perbandingan tegangan aktual dari konstruksi yang diteliti dibagi dengan tegangan ijin oleh class BKI. Tentunya perhitungan nilai *safety factor* dapat diketahui ketika nilai tegangan maksimum didapat setelah proses *set-up ANSYS* dilakukan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perhitungan scantling digunakan rules BKI Part. 3 Volume V mengenai peraturan tentang kapal berbahan FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) tahun 2021 sebagai acuan dalam perhitungan penelitian. Untuk dapat menghitung scantling kapal fiber pada penelitian ini juga diperlukan data linesplan dan juga general arrangement.

#### 3.1 Perhitungan Berat Scantling

Berikut ini adalah perhitungan berat scantling konstruksi :

##### 1. BKI Part 3 Vol. V section 7 B.1

Lebar keel :

$$b = 530 + 14.6 \times LPP \quad (\text{mm})$$

$$b = 530 + 14.6 \times 11.6721 \quad (\text{mm})$$

$$b = 700.4 \quad (\text{mm})$$

Tebal keel :

$$tk = 9 + 0.4 \times LPP \quad (\text{mm})$$

$$tk = 9 + 0.4 \times 11.67 \quad (\text{mm})$$

$$tk = 13.67 \quad (\text{mm})$$

##### 2. BKI Part 3 Vol. V section 7 C.1

Tebal side shell

$$ts = 15 \times a \times \sqrt{(T+0.026 \times LPP)} \quad (\text{mm})$$

$$ts = 15 \times 0.5 \times \sqrt{(0.6+0.026 \times 11.67)} \quad (\text{mm})$$

$$ts = 7.13 \quad (\text{mm})$$

##### 3. BKI Part 3 Vol. V section 7 C.2

Tebal bottom shell

$$tb = 15.8 \times a \times \sqrt{(T+0.026 \times LPP)} \quad (\text{mm})$$

$$tb = 15.8 \times 0.5 \times \sqrt{(0.6+0.026 \times 11.67)} \quad (\text{mm})$$

$$tb = 7.51 \quad (\text{mm})$$

##### 4. BKI Part 3 Vol. V section 7 E.1

Tebal superstructure shell

$$tba = 0.8 \times ts \quad (\text{mm})$$

$$tba = 0.8 \times 7.13 \quad (\text{mm})$$

$$tba = 5.70 \quad (\text{mm})$$

##### 5. BKI Part 3 Vol. V section 8 B.3

Beban main deck

$$P = 0.27L + 0.46 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P = 0.27(11.67) + 0.46 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P = 3.6 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Tebal main deck

$$tD = 15 \times a \times \sqrt{P} \quad (\text{mm})$$

$$tD = 15 \times 0.5 \times \sqrt{3.6} \quad (\text{mm})$$

$$tD = 5.51 \quad (\text{mm})$$

##### 6. BKI Part 3 Vol. V section 10 B.1

Tebal center girder

$$t = 0.4L + 5 \quad (\text{mm})$$

$$t = 0.4(11.67) + 5 \quad (\text{mm})$$

$$t = 9.67 \quad (\text{mm})$$

Lebar center girder

$$B = 4L + 30 \quad (\text{mm})$$

$$B = 4(11.67) + 30 \quad (\text{mm})$$

$$B = 76.7 \quad (\text{mm})$$

##### 7. BKI Part 3 Vol. V section 10 D.1

Tebal floor

$$t = 0.4L \quad (\text{mm})$$

$$t = 0.4(11.67) \quad (\text{mm})$$

$$t = 4.7 \quad (\text{mm})$$

##### 8. BKI Part 3 Vol. V section 13 B.1

Tebal bulkhead

$$tf = 12 \times CBhd \times a \times h \quad (\text{mm})$$

$$tf = 12 \times 1 \times 0.5 \times 1.5 \quad (\text{mm})$$

$$tf = 7.35 \quad (\text{mm})$$

Tabel 1 Perhitungan berat scantling

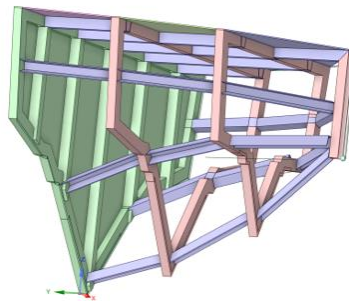
No.	Item	Area (m <sup>2</sup> )	Berat Jenis	Berat (Kg)	Berat (ton)
			Kg/m <sup>2</sup>		
1	Keel	19.7	17	324.35	0.324
2	Side Shell	30.8	9.6	295.82	0.296
3	Bottom Shell	32.4	10.9	353.51	0.354
4	Superstructure Shell	37.2	7.6	282.66	0.283
5	Main Deck	42.7	6.6	281.80	0.282
6	Center Girder	2.3	11.9	26.83	0.027
7	Floor	14.3	5.6	79.95	0.080
8	Bulkhead	18.3	4.3	78.84	0.079
9	Transverse Frame	28.7	4.3	123.46	0.123
10	Side Longitudinal	45.6	4.3	196.24	0.196
11	Bottom Longitudinal	7.0	4.3	30.27	0.030
12	Deck Girder	24.0	4.3	103.34	0.103
13	Stiffener	11.4	4.3	49.21	0.049
	Total	314.5	95	2226.29	2.226

Dari tabel 1 dapat diketahui nilai estimasi berat scantling kapal patroli 13 meter adalah sebesar 2226.29 kg atau sekitar 2.226 ton.

#### 3.2 Pemodelan 3D Kontruksi Kapal

##### A. Desain 3D kontruksi

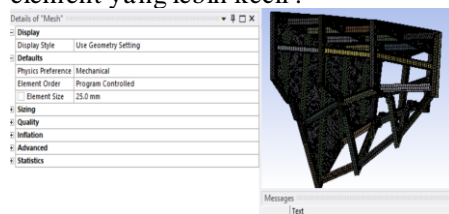
Desain 3D yang digunakan pada penelitian ini adalah mengambil sample dari frame 21 sampai 23 pada haluan kapal yang dilakukan analisis :



Gambar 2 Desain 3D konstruksi haluan kapal

### B. Meshing

Pada simulasi ini dilakukan pembagian ukuran (meshing) model menjadi element yang lebih kecil :



Gambar 3 Meshing desain

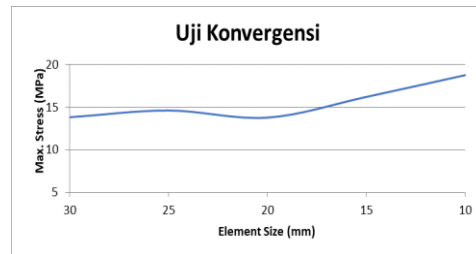
### 3.3 Uji Konvergensi

Dilakukan pengujian konvergensi pada meshing yang telah dilakukan dengan menggunakan variasi meshing acak dan membandingkan 2 nilai meshing yang berdekatan guna mendapatkan nilai perbandingan yang kurang dari 5%. Ketika sudah menemukan hasil perbandingan *meshing* yang nilainya kurang dari 5% maka *meshing* tersebut digunakan sebagai acuan untuk *running software finite element* sebagai dasar analisis kekuatan struktur konstruksi (Khairunnisa, 2022).

Tabel 2 Hasil iterasi *meshing*

Iterasi	Ukuran Mesh (mm)	Jumlah Elemen	Nodes	Tegangan Maksimum (Mpa)
1	30	53773	140738	13.851
2	25	73136	186930	14.637
3	20	108276	282594	13.808
4	15	193500	487399	16.203
5	10	455613	1109309	18.722

Diketahui seberapa landai antara *meshing* ukuran 25 mm dan 20 mm maka dipilihlah ukuran *meshing* 20 mm yang memiliki perbedaan perbandingan nilai tegangan kurang dari 5%. Proses konvergensi ini pada prinsipnya dilakukan dengan mengubah ukuran *mesh* pada model dan membandingkan hasil analisis tegangan yang terjadi setelah *running*. Hasil tegangan yang telah konvergen inilah yang akan dianalisis tegangan *von mises*.



Gambar 4 Grafik konvergensi iterasi *meshing*

### 3.4 Perhitungan Beban Slamming

$$P_s = \frac{1}{2} \rho k V_{br}^2$$

Tabel 3 Perhitungan beban *slamming frame 23*

Frame 23	$P_s = \frac{1}{2} \rho k V_{br}^2$		
Kondisi Perairan	Tinggi Gelombang (Hs)	Perhitungan Beban Slamming (KPa)	Perhitungan Beban Slamming (MPa)
SeaState 1	0.05 m	0.050853	5.0853e-5
SeaState 2	0.3 m	0.89298	0.0089298
SeaState 3	1 m	6.831523	0.006831523
SeaState 4	2 m	8.41874	0.00841874
SeaState 5	3.3 m	15.37935	0.01537935

Tabel 4 Perhitungan beban *slamming frame 22*

Frame 21	$P_s = \frac{1}{2} \rho k V_{br}^2$		
Kondisi Perairan	Tinggi Gelombang (Hs)	Perhitungan Beban Slamming (KPa)	Perhitungan Beban Slamming (MPa)
SeaState 1	0.05 m	0.041628	4.1628e-5
SeaState 2	0.3 m	0.734315	0.00734315
SeaState 3	1 m	5.591277	0.005591277
SeaState 4	2 m	6.775504	0.006775504
SeaState 5	3.3 m	12.31517	0.01231517

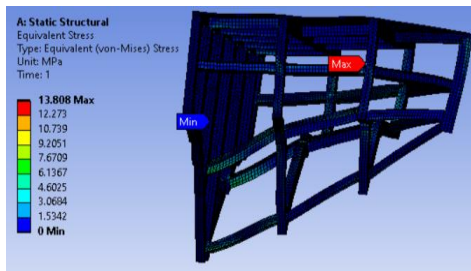
Tabel 5 Perhitungan beban *slamming frame 21*

Frame 21	$P_s = \frac{1}{2} \rho k V_{br}^2$		
Kondisi Perairan	Tinggi Gelombang (Hs)	Perhitungan Beban Slamming (KPa)	Perhitungan Beban Slamming (MPa)
SeaState 1	0.05 m	0.041628	4.1628e-5
SeaState 2	0.3 m	0.734315	0.00734315
SeaState 3	1 m	5.591277	0.005591277
SeaState 4	2 m	6.775504	0.006775504
SeaState 5	3.3 m	12.31517	0.01231517

Dari data tabel 3 sampai tabel 5 dapat diketahui bahwa nilai beban *slamming* terbesar terdapat pada frame 23 atau dapat dikatakan pada sisi terdepan Haluan kapal yang mengalami beban *slamming* paling tinggi. Nilai beban *slamming* tertinggi sebesar 15.37935 MPa digunakan sebagai input dalam analisis pada software finite element pada 3 sample frame yang dimodelkan.

### 3.5 Tegangan Von Mises

Dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimum (*von mises*) yang terjadi pada model adalah sebesar 13.808 MPa. Untuk area yang memiliki tegangan maksimum pada model ada pada area transverse frame 23 yang berpotongan dengan side longitudinal pada sisi starboard dan portside kapal. Sedangkan area yang mengalami tegangan minimum ada pada pelat bulkhead sebagai penunpu dari model.



Gambar 5 Hasil tegangan von mises

### 3.6 Safety Factor

Perhitungan nilai safety factor pada model 3D kontruksi yang telah dilakukan analisis tegangan maksimum yang terjadi akibat pembebanan slamming pada model. Untuk menghitung nilai dari safety factor pada penelitian ini seperti berikut :

$$F = \frac{F_y}{F.S}$$

Dimana :  $F$  = Tegangan ijin  
 $F_y$  = Tensile strength (98 MPa, BKI Vol. 3 Sec. 1 C.4)  
 $F.S$  = Faktor keamanan (1.25, Beban aksial)

$$F = \frac{F_y}{F.S}$$

$$F.S = \frac{F_y}{F}$$

$$F.S = \frac{98 \text{ MPa}}{13.808 \text{ MPa}}$$

$$F.S = 7.097$$

## 4. KESIMPULAN

Pada penelitian analisis kekuatan kontruksi kapal patroli 13 meter dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Setelah melakukan desain scantling yang sesuai dengan rules BKI untuk kapal berbahan fiber pada penelitian ini didapatkan estimasi berat scantling sebesar 2226.29 Kg atau sekitar 2.226 ton.
2. Pada kondisi maksimum sea state 5 didapatkan nilai *slamming* load sebagai *input* untuk analisis nilai tegangan *von mises* dengan nilai beban *slamming* sebesar 15.37935 KPa atau sekitar 0.01537935 MPa.
3. Setelah melakukan analisis tegangan menggunakan software *ANSYS Static Structural* dengan *input* material FRP dan beban *slamming* yang sudah diberikan pada desain 3D kontruksi, didapatkan nilai tegangan *von mises* pada model adalah sebesar 13.808 MPa.
4. Setelah diketahui nilai dari tegangan *von mises* yang terjadi pada desain 3D kontruksi menggunakan bantuan software *ANSYS Static Structural*, maka dapat dihitung nilai *safety factor* dengan nilai *safety factor* pada model adalah sebesar 7.097.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

1. Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan aman, selamat, lancar, dan barokah.
2. Orang tua yang telah membesarkan penulis, membiayai sekolah penulis, selalu memberikan banyak nasehat, semangat, doa, kasih sayang, dan meteri yang tidak dapat penulis ucapkan satu persatu.
3. Bapak Mardi Santoso, S.T., M. Eng. Sc. sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan banyak ilmu baru yang penulis peroleh dari penyelesaian Tugas Akhir.
4. Bapak Benedicta Dian Alfanda, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan banyak ilmu baru yang penulis peroleh dari penyelesaian Tugas Akhir.
5. Teman – teman seperjuangan kelas D4 ME B 2019 terutama untuk tim *Savonius* yang menjadi keluarga dan saling mendukung selama kuliah dan pengerjaan penelitian.

## 6. PUSTAKA

- [1] Avianto, J., Imron, A. & Sujiatanti, S. H., 2013. Analisa Tegangan Yang Terjadi Pada Geladak Kapal Tanker Akibat Pengaruh Perubahan Letak Pembujur Geladak Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), pp. 1-6.
- [2] Bhattacharyya, Rameswar. *Dynamic of Marine Vehicle*. New York: John Wiley and Sons, 1978..
- [3] Biro Klasifikasi Indonesia. (2021). Rules for Fiberglass Reinforced Plastic Ships. Rules For Classification And Construction, V, 1–4. [www.bki.co.id](http://www.bki.co.id).
- [4] BKI. (2022). Rules For Classification And Construction VOL.II Rules for Hull. II. [www.bki.co.id](http://www.bki.co.id).
- [5] Budianto, B. (2015). Analisis Kekuatan Struktur Pada Kapal Wisata Sungai Kalimas. *Kapal*, 12(1), 9–18.
- [6] Finite - Element - Modeling - for - Stress - Analysis - Robert - D. - Cook.pdf - 15.pdf. (n.d.).
- [7] Khairunnisa. (2022). Optimasi Desain Ponton Pengangkut Batu Bara 91.5 Meter Dengan Variasi Perubahan Jarak Gading.
- [8] Putranto, T., & Sulisetyono, A. (2015). Analisa Numerik Gerakan Dan Kekuatan Kapal Akibat Beban Slamming Pada Kapal Perang Tipe Corvette. *Kapal*, 12(3).

- [https://doi.org/10.12777/kpl.12.3.158 - 164.](https://doi.org/10.12777/kpl.12.3.158-164)
- [9] Rigo, P., & Rizzuto, E. (2003). Analysis and Design of Ship Structure. *Ship Design and Construction*, 1–37.
- [10] Waigeo, P. S. (2015). Analisa Kekuatan Konstruksi Memanjang, Stabilitas Dan Olah Gerak Kapal Kmp. Lema Ro-Ro 750 Gt Untuk Pelayaran Sorong - Waigeo. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(4), 494–502.