

Analisis Umur Kelelahan Struktur Ruang Muat Kapal Spob Akibat Beban Sloshing

Amalia Ika Wulandari^{1*}, Andi Mursid Nugraha Arifuddin², Ayu Meidilia Ananda Nudi³

^{1*,2,3}*Jurusan Teknik Perkapalan, Institute Teknologi Kalimantan*

**E-mail: Amaliaikaw@lecturer.itk.ac.id*

Abstract

Self-propeller oil barge (SPOB) vessel which is a special type of vessel for transporting crude oil cargo which has its own propulsion which can reduce operational costs in distribution. According on data from the International Energy Agency (IEA), in 2023 the world's oil demand will increase to 100.4 million barrels. Due to the increasing demand for world oil, the exploration and exploitation process also increases so that this ship's shipping operations also increase. During the voyage, the ship must be able to withstand repeated loads that occur during the voyage. Repeated loads that occur continuously can result in fatigue of the ship's structure and will endanger the ship. So it is necessary to analyze the fatigue life of the ship structure construction. The research was conducted by varying the ship's load with variations of 40%, 50%, 60%, and 70% using the finite element method. The results showed that the maximum stress value of the 70% load variation was 117.08 MPa with a fatigue life of 38.57 years, the 60% load load was 114.74 Mpa with a fatigue life of 42.55 years, the 50% load load was 96.025 Mpa with fatigue life is 80.28 years, and a 40% load is 96.01 Mpa with a fatigue life of 83.14 years.

Keyword: Finite element method, Fatigue life, Sloshing, SPOB

Abstrak

Kapal *self-propeller oil barge* (SPOB) merupakan jenis kapal khusus untuk mengangkut muatan minyak mentah yang memiliki penggerak sendiri sehingga dapat menekan biaya operasional dalam pendistribusian. Menurut data dari *International Energy Agency* (IEA), pada tahun 2023 kebutuhan minyak dunia meningkat menjadi 100.4 juta barel. Karena peningkatan kebutuhan minyak dunia yang meningkat, maka proses eksplorasi dan eksploitasi juga ikut meningkat sehingga kapal ini juga pengoperasian pelayarannya meningkat. Selama pelayaran, kapal diharuskan mampu bertahan dikondisi beban muatan berulang yang terjadi selama pelayaran. Beban muatan berulang yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan kelelahan pada struktur kapal dan akan membahayakan kapal. Maka diperlukan analisis fatigue life terhadap konstruksi struktur kapal. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan beban muatan kapal dengan variasi 40%, 50%, 60%, dan 70% menggunakan metode elemen hingga. Hasil penelitian didapatkan nilai tegangan maksimal dari variasi beban muatan 70% adalah 117,08 MPa dengan fatigue life 38,57 tahun, beban muatan 60% adalah 114,74 Mpa dengan fatigue life 42,55 tahun, beban muatan 50% adalah 96,025 Mpa dengan fatigue life 80,28 tahun, dan beban muatan 40% adalah 96,01 Mpa dengan fatigue life 83,14 tahun.

Kata kunci: Elemen Hingga, Fatigue life, Sloshing, SPOB

1. Pendahuluan

Kapal merupakan transportasi laut yang memiliki banyak jenis dan fungsi yang berbeda-beda, mulai dari pendistribusian kebutuhan pokok sampai pendistribusian bahan bakar, salah satunya adalah kapal *self-propeller oil barge* (SPOB) yang merupakan jenis kapal khusus untuk mengangkut muatan minyak mentah [1]. Seiring peningkatan kebutuhan minyak dunia yang meningkat, maka proses eksplorasi dan eksploitasi minyak turut meningkat yang mengakibatkan pengoperasian pelayaran kapal juga ikut meningkat. Selama pelayaran, kapal harus mampu bertahan terhadap beban muatan berulang dan beban muatan yang bergerak didalam yang disebut *Sloshing* [2].

Sloshing adalah gerakan *free surface* cairan yang bergerak gerak menghantam dinding batasan pada sebuah tangki atau ruang muat yang diakibatkan oleh cairan muatan yang tidak penuh menyebabkan deformasi besar di dinding tangki atau ruang muat serta bagian-bagian struktur lainnya [3]. Gerak cairan muncul karena gerakan *transverse sloshing* pada wadah yang dapat terjadi dalam berbagai keadaan [4]. Kondisi muatan yang tidak penuh dapat menyebabkan adanya *sloshing* dalam tangki dimana kondisi ini sangat fatal jika terus terjadi karena dapat menyebabkan kelelahan struktur [5]-[6].

Kelelahan (*fatigue*) merupakan penumpukan kerusakan suatu material yang disebabkan oleh beban siklik. Bagian-bagian sebuah struktur harus bertahan dari tegangan yang terjadi secara terus menerus ketika beroperasi. Salah satu contoh beban jenis ini yaitu pada *marine structure* dimana tegangan berhubungan dengan beban akibat muatan kapal maupun dari gelombang [7].

Kelelahan struktur biasanya tidak terjadi ketika siklus tidak cukup besar untuk membuat struktur tersebut mendapati kegagalan. Namun kegagalan dapat terjadi jika kerusakan yang dialami oleh struktur sampai pada level yang kritis. Umur kelelahan suatu material atau struktur secara tidak langsung berhubungan dengan proses kelelahan [8]-[9].

Kapal SPOB merupakan kapal yang banyak dikembangkan di Indonesia, sehingga banyaknya penelitian yang dilakukan mengarah pada pengembangan terkait kapal SPOB, salah satu penelitian yang belum dikembangkan yaitu terkait dengan beban *sloshing* yang diakibatkan oleh pemuatan minyak didalam kapal.

Oleh karena itu dilakukan penelitian terhadap kapal SPOB 3500 DWT dengan variasi muatan 40%, 50%, 60%, dan 70%. Digunakan jumlah variasi tersebut agar mengetahui nilai tegangan maksimal struktur kapal akibat beban *sloshing* dan umur kelelahan dari kapal tersebut menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Penelitian ini akan menganalisis hubungan yang ditimbulkan oleh beban *sloshing* dengan umur dari struktur kapal SPOB.

2. Metode Penelitian

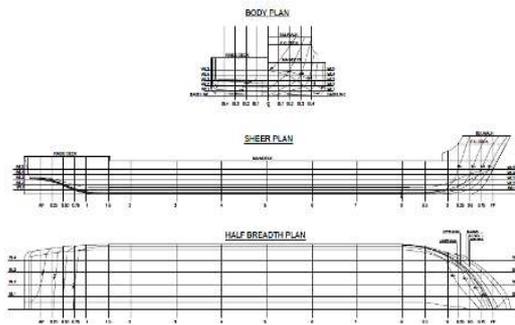
Pengolahan data kapal *Self Propelled Barge Oil* (SPOB) 3500 DWT dilakukan dengan membuat pemodelan kapal, menghitung beban *sloshing*, dan melihat nilai tegangan maksimal menggunakan *software* berbasis elemen hingga yaitu *Ansys Workbench* [10].

2.1. Data Kapal

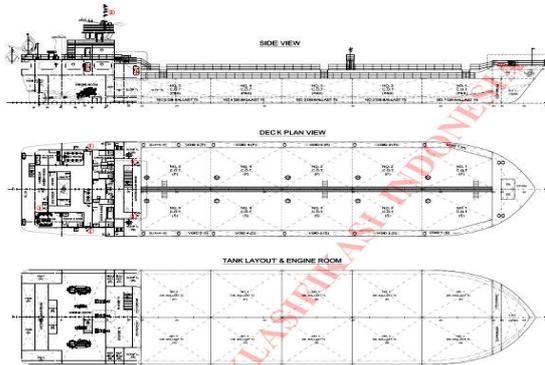
Tabel 1 menunjukkan data primer kapal SPOB yang telah dikumpulkan. Gambar 1. merupakan *lines plan* sedangkan Gambar 2 menunjukkan *general arrangement* dan konstruksi profile

Tabel 1 Ukuran Utama Kapal SPOB

Data Kapal	Ukuran	Satuan
<i>LOA</i>	71.4	m
<i>LPP</i>	68.54	m
<i>B</i>	16.8	m
<i>H</i>	4.4	m
<i>Draught</i>	3.6	m
DWT	3500	Ton



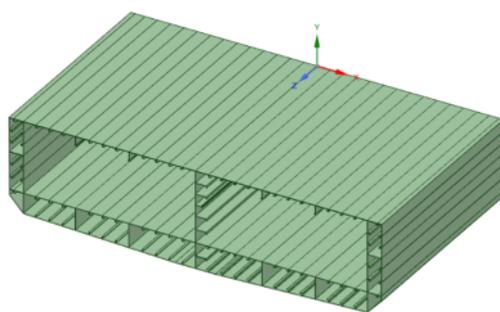
Gambar 1. Lines Plan



Gambar 2. General Arrangement

2.2 Permodelan

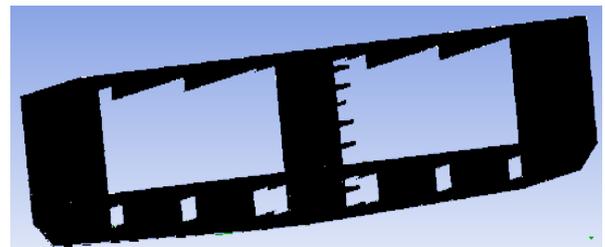
Permodelan ruang muat dilakukan menggunakan software berbasis elemen hingga yang dapat mempermudah proses analisis data dengan menggunakan frame 31-35 bagian *midship* dengan panjang konstruksi 9,5 m menggunakan jenis baja A36. Berikut gambar ruang muat yang sudah dimodelkan:



Gambar 3. Permodelan ruang muat kapal SPOB

Proses *meshing* adalah elemen yang berjarak yang teratur yang harus dilakukan dipenggunaan software berbasis elemen hingga untuk melalui tahap *pre-processing* sebelum melakukan analisis. Semakin kecil

nilai *meshing* yang digunakan, maka semakin akurat nilainya yang diperoleh. namun membutuhkan waktu yang lebih lama bagi perangkat komputer untuk menganalisisnya [11]. *Meshing* pada desain model ruang muat dengan ketentuan *element sizing* yaitu sebesar 355 mm

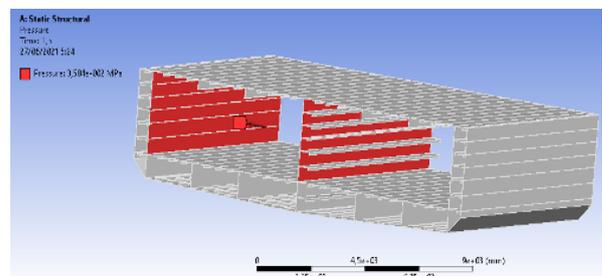


Gambar 4. Hasil meshing pada model

Pada penentuan peletakan tumpuan digunakan *fixed support*, yang berfungsi sebagai gaya jepit untuk membatasi gerakan dan diletakkan di *after*, pembebanan pada model ini menggunakan beban *pressure* pada kedua sisi pembujur sisi dan *double bottom*, sebagai tekanan yang bekerja yang telah didapat dengan menggunakan persamaan menurut spesifikasi IACS berikut:

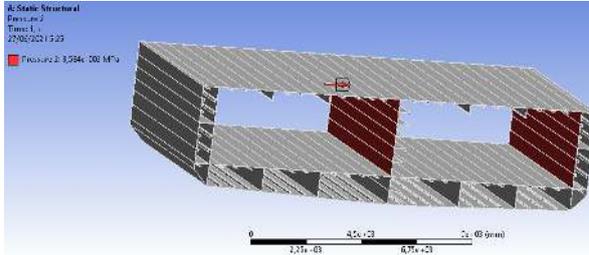
$$P_{slh-t} = 7 \rho g f_{slh} \left(\frac{b_{slh}}{B} - 0,3 \right) GM^{0,75} \quad (1)$$

Pada penentuan peletakan tumpuan digunakan *fixed support*, yang berfungsi sebagai gaya jepit untuk membatasi gerakan dan diletakkan di *after*, kemudian diberikan *pressure* sebagai tekanan yang bekerja yang telah didapat. Beban diletakkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



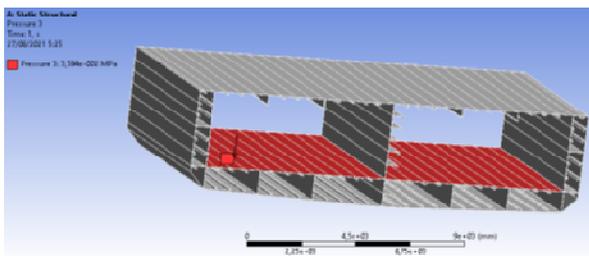
Gambar 5. Peletakan Beban Muatan *Pressure* 1

Gambar 5 menunjukkan peletakan beban muatan *pressure* 1 yang bekerja yang telah didapat hasil perhitungan di sisi ruang muat kapal bagian kiri.



Gambar 6. Peletakan Beban Muatan Pressure 2

Gambar 6 menunjukkan peletakan beban muatan *pressure* 2 yang bekerja yang telah didapat hasil perhitungan di sisi ruang muat kapal bagian kanan.



Gambar 7. Peletakan Beban Muatan Pressure

Gambar 7 menunjukkan peletakan beban muatan *pressure* 1 yang bekerja yang telah didapat hasil perhitungan di sisi ruang muat kapal bagian *Double Bottom*.

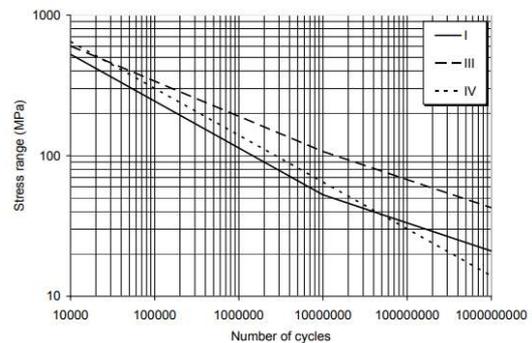
2.3 Fatigue Life

Fatigue life merupakan kondisi suatu material yang mengalami kerusakan oleh beban siklik. Bagian-bagian dari sebuah struktur harus bisa bertahan dari tegangan yang terjadi secara terus menerus selama pelayaran. Perhitungan *fatigue life* dapat diperoleh dengan terlebih dahulu mendapatkan nilai *Accumulated fatigue damage* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$D = \frac{V_0 T_d}{\sigma} q \Gamma \left(1 + \frac{m}{h} \right) \quad (2)$$

2.4 S-N Curve

Kekuatan sambungan las sebuah baja terhubung pada kekuatan yang ditunjukkan menggunakan kurva S-N, yang terhubung dengan rentang tegangan yang terjadi pada sebuah material atau struktur, besaran siklus beban amplitudo adalah konstan untuk sebuah kegagalan. Untuk sebuah struktur kapal, kurva S-N dibawah diperlihatkan sesuai dengan buku DNV:



Gambar 8. Kurva S-N

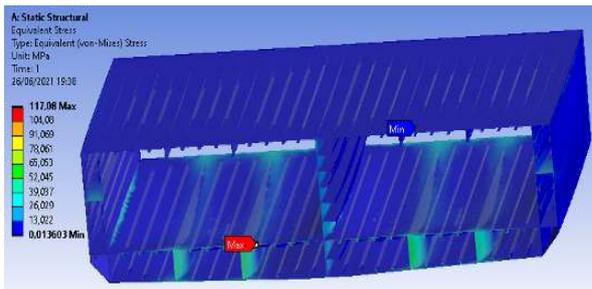
3. Hasil Penelitian

3.1. Nilai Tegangan pada pada Software Berbasis Elemen Hingga

Nilai tegangan yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan hasil yang diperoleh dengan menggunakan bantuan *software ANSYS* yang menerapkan mengaplikasikan metode elemen hingga [10],[12]. Pemodelan dilakukan dengan memvariasikan jenis beban yang diakibatkan oleh pemuatan, sehingga diketahui variasi nilai tegangan pada masing-masing pembebanan.

3.1.1. Nilai Tegangan pada Variasi Beban Muatan 70%

Pada pemodelan pertama dilakukan pemodelan pada ruang muat kapal dengan pembebanan muatan 35,8398 kN/m² yang ditunjukkan oleh Gambar 9.

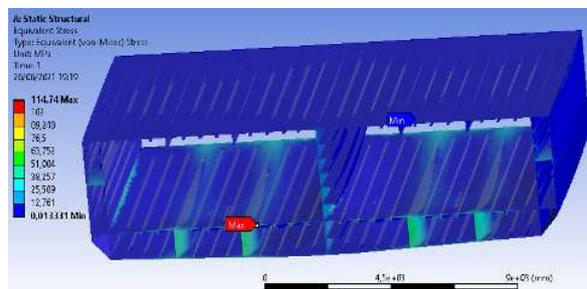


Gambar 9. Nilai tegangan ruang muat pada variasi beban muatan 70%

Gambar 9 menunjukkan hasil yang diakibatkan oleh proses pembebanan muatan 70% diperoleh tegangan maksimum sebesar 117,08 MPa. Dengan tegangan minimum 0.013603 MPa.

3.1.2 Nilai Tegangan pada Variasi Beban Muatan 60%

Pada pemodelan pertama dilakukan pemodelan pada ruang muat kapal dengan pembebanan muatan 35,12296215 kN/m² yang ditunjukkan oleh Gambar 10.

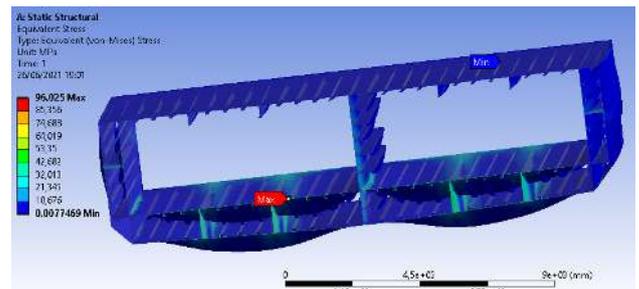


Gambar 10. Nilai tegangan ruang muat pada variasi beban muatan 60%

Gambar 10 menunjukkan hasil yang diakibatkan oleh proses pembebanan muatan 60% diperoleh tegangan maksimum sebesar 114,74 MPa, dengan tegangan minimum 0.013331 MPa.

3.1.3 Nilai Tegangan pada Variasi Beban Muatan 50%

Pada pemodelan pertama dilakukan pemodelan pada ruang muat kapal dengan pembebanan muatan 32,9726 kN/m² yang ditunjukkan oleh Gambar 11.

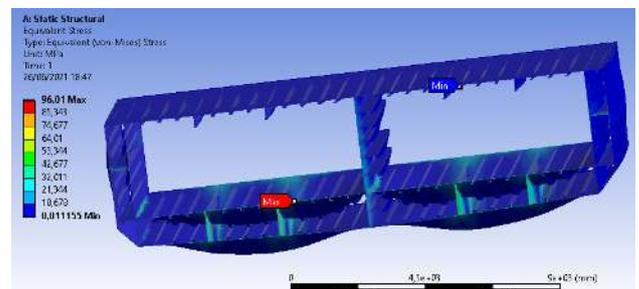


Gambar 11. Nilai tegangan ruang muat pada variasi beban muatan 50%

Gambar 11 menunjukkan hasil yang diakibatkan oleh proses pembebanan muatan 50% diperoleh tegangan maksimum sebesar 96,025 MPa. Dengan tegangan minimum 0,0077469 MPa.

3.1.4 Nilai Tegangan pada Variasi Beban Muatan 40%

Pada pemodelan pertama dilakukan pemodelan pada ruang muat kapal dengan pembebanan muatan 29,3886 kN/m² yang ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12. Nilai tegangan ruang muat pada variasi beban muatan 40%

Gambar 12 menunjukkan hasil yang diakibatkan oleh proses pembebanan muatan 40% diperoleh tegangan maksimum didapatkan tegangan maksimal sebesar 96,01 MPa dengan tegangan minimum 0,01116 MPa.

Data nilai tegangan maksimal yang didapatkan dengan variasi beban muatan terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Hasil Nilai Tegangan Maksimal

Variasi Pembebanan	<i>Stress (MPa)</i>			
	70%	60%	50%	40%
	117,08	114,74	96,025	96,01

3.2 Fatigue life

Perhitungan nilai *fatigue life* didasarkan pada persamaan (2) dengan mencari nilai *Accumulated fatigue damage* (D) terlebih dahulu. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan nilai *Accumulated fatigue damage* pada setiap variasi beban muatan:

Tabel 3. Nilai D pada Setiap Variasi Pembebanan

Variasi Pembebanan	<i>Accumulated fatigue damage (D)</i>			
	70%	60%	50%	40%
	0,5185	0,4701	0,2491	0,2406

Nilai *fatigue life* dapat dihitung menggunakan persamaan (3) setelah nilai (D) pada masing-masing variasi pembebanan telah diperoleh.

$$\bar{F}atigue\ Life = \frac{(Design\ Life)}{D} \times years \quad (3)$$

Hasil perhitungan *fatigue life* dan siklus dari kurva S-N ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 4. Nilai Siklus dan *Fatigue Life*

Variasi Ruang muat	<i>Number of Cycles</i>	<i>Fatigue life (Tahun)</i>
70%	1950000	38.57
60%	2000000	42.55
50%	3000000	80.28
40%	3000000	83.44

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dalam penelitian ini, disimpulkan bahwa peningkatan nilai beban muatan pada kapal SPOB berbanding lurus (*linear*) dengan nilai tegangannya. Namun umur kelelahan (*fatigue*

life) pada struktur kapal SPOB berbanding terbalik dengan peningkatan beban muatan.

5. Daftar Pustaka

- [1] H. B. Ju, B. S. Jang, J. Choi, K. H. Yim, Y. J. Yang, and S. Han, "Structural safety assessment procedure for membrane-type LNG CCS considering hydroelasticity effect," *Mar. Struct.*, vol. 78, no. December 2020, p. 102962, 2021, doi: 10.1016/j.marstruc.2021.102962.
- [2] Y. Ahn, Y. Kim, and S. Y. Kim, "Database of model-scale sloshing experiment for LNG tank and application of artificial neural network for sloshing load prediction," *Mar. Struct.*, vol. 66, no. March, pp. 66–82, 2019, doi: 10.1016/j.marstruc.2019.03.005.
- [3] M. Heinvee and K. Tabri, "A simplified method to predict grounding damage of double bottom tankers," *Mar. Struct.*, vol. 43, pp. 22–43, 2015, doi: 10.1016/j.marstruc.2015.04.002.
- [4] M. Riesner and O. el Moctar, "Assessment of wave induced higher order resonant vibrations of ships at forward speed," *J. Fluids Struct.*, vol. 103, p. 103262, 2021, doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2021.103262.
- [5] K. Tabri, J. Broekhuijsen, J. Matusiak, and P. Varsta, "Analytical modelling of ship collision based on full-scale experiments," *Mar. Struct.*, vol. 22, no. 1, pp. 42–61, 2009, doi: 10.1016/j.marstruc.2008.06.002.
- [6] Q. Jin, X. Li, N. Sun, J. Zhou, and J. Guan, "Experimental and numerical study on tuned liquid dampers for controlling earthquake response of jacket offshore platform," *Mar. Struct.*, vol. 20, no. 4, pp. 238–254, 2007, doi: 10.1016/j.marstruc.2007.05.002.

- [7] I. R. J. Wulandari.A.I.; Rahmasari.N.W.D, Adnyani.L.P., Alamsyah, "Fatigue Analysis Of5000 GT Ferry Ro-Ro s Car Deck Using Finite Element Method," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut. (Kapal J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 3, pp. 160–170, 2021.
- [8] M. Z. Muis Alie, "Department of Naval Architect and Ocean Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa 92172, Indonesia (Received: September 2015 / Revised: July 2016 / Accepted: September 2016)," *Journal, Int. Archit. Nav. Eng. Ocean*, pp. 1107–1116, 2016.
- [9] M. Riesner and O. el Moctar, "A numerical method to compute global resonant vibrations of ships at forward speed in oblique waves," *Appl. Ocean Res.*, vol. 108, no. June 2020, p. 102520, 2021, doi: 10.1016/j.apor.2020.102520.
- [10] M. Badshah, S. Badshah, and S. Jan, "Comparison of computational fluid dynamics and fluid structure interaction models for the performance prediction of tidal current turbines," *J. Ocean Eng. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 164–172, 2020, doi: 10.1016/j.joes.2019.10.001.
- [11] Baharuddin, Randis. "Struktural Dan Modal Analisis Pada Bilah Baling-Baling Quadcopter Dengan Bantuan Simulasi Komputer." *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)* 9.2 (2021): 186-190.
- [12] H. Ullah, M. Hussain, N. Abbas, H. Ahmad, M. Amer, and M. Noman, "Numerical investigation of modal and fatigue performance of a horizontal axis tidal current turbine using fluid–structure interaction," *J. Ocean Eng. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 328–337, 2019, doi: 10.1016/j.joes.2019.05.008.