

# PERHITUNGAN FREKUENSI EKSITASI UNTUK MENGHINDARI TERJADINYA RESONANSI PADA KAPAL GENERAL CARGO 6088 GT MENGGUNAKAN METODE MAPE

Khoirul Fikri <sup>1\*</sup>, Heroe Poernomo, S.T., M.T. <sup>2</sup>, Adi Wirawan Husodo, S.T., M.T. <sup>3</sup>

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*2</sup>

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

Email: [khoirulfikri26@student.ppns.ac.id](mailto:khoirulfikri26@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [poernomo\\_heroe@ppns.ac.id](mailto:poernomo_heroe@ppns.ac.id)<sup>2\*</sup>; [adi\\_wirawan@ppns.ac.id](mailto:adi_wirawan@ppns.ac.id)<sup>3\*</sup>

---

**Abstract** - This research analyses the vibration of the main engine foundation by using a mathematical modelling method to determine the stiffness and natural frequency. The initial analysis is performed to find the value of natural frequency, which is calculated in two ways: manual calculation and analysis using finite element software. The results of the two natural frequency calculation methods were then validated using the MAPE method. Before finding the natural frequency, deflection and stiffness calculations that affect the vibration response of the main engine were carried out. The stiffness value is used to find the natural frequency. The result of the stiffness value is  $9.71 \times 10^7$  N/m, the natural frequency from manual calculation is 7.563 Hz, and the natural frequency from software analysis is 7.804 Hz. The validation shows a difference between manual calculation and software analysis of 3.19%. These stiffness and natural frequency values can be used to prevent resonance, thereby increasing the efficiency and life of the machine.

**Keywords:** Main Engine Foundation, Mathematical Modelling, Natural Frequency, Resonance, Stiffness

---

## 1. PENDAHULUAN

Kapal yang dibuat pada tahun 2008 yaitu kapal cargo 6088 GT mengalami kendala pada mesin induk saat berlayar, Dimana mesin wuxi antai *power* X8320ZC4B-1 dengan berat 26700 kg gagal beroperasi sehingga diharuskan melakukan pergantian mesin induk baru menggunakan mesin yanmar 8N330-EW dengan berat 43000 kg. Pergantian mesin induk juga melibatkan penggantian pondasinya dengan yang baru. Pondasi adalah komponen yang berfungsi menahan beban di atasnya, yaitu mesin induk. Pondasi ini harus kuat untuk memastikan operasional mesin yang efisien dan aman. Kekakuan pondasi menentukan seberapa baik pondasi dapat menahan beban dinamis dari mesin induk tanpa mengalami deformasi berlebihan. Selain itu, frekuensi natural pondasi adalah frekuensi di mana pondasi akan beresonansi jika terkena frekuensi eksitasi yang sesuai atau sama dengan satu, sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktural. Frekuensi natural dihitung dengan dua cara, yaitu perhitungan manual dan analisis menggunakan *finite element software*, untuk membandingkan dan memvalidasi persentase *error* dengan metode MAPE.

Untuk memastikan pondasi dapat menahan beban dinamis dari mesin induk tanpa mengalami deformasi berlebihan, kekakuan pondasi harus dihitung dengan akurat. Pada penelitian [1], bahwa semakin kecil nilai MAPE yang dihasilkan maka semakin baik nilai persentase *error* tersebut.

[2] mengatakan bahwa mengubah frekuensi natural struktur yang beresonansi dengan meningkatkan kekakuannya, baik melalui penguatan tambahan atau memperbesar modulus penampang, adalah salah satu cara untuk mencegah resonansi. Pada penelitian [3], menganalisis potensi resonansi pada kapal cepat menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini mengkaji frekuensi alami kapal dan frekuensi eksitasi dari mesin induk serta baling-baling. Hasilnya menunjukkan resonansi global dengan baling-baling pada mode ke-34, 35, dan 36, namun tidak ada resonansi global dengan eksitasi mesin induk. Pada penelitian [4], Disebutkan bahwa resonansi dapat menyebabkan peningkatan amplitudo getaran secara teori hingga mencapai frekuensi yang tidak terbatas. Maka sari itu, sangat penting untuk mencegah resonansi karena dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada struktur kapal [2]–[4].

Artikel ini menitikberatkan pada identifikasi model getaran mesin induk pada pondasi mesin induk kapal kargo 6088 GT. Perhitungan nilai frekuensi natural dilakukan secara manual dan dengan analisis menggunakan *finite element software*. Hasil dari kedua metode tersebut divalidasi menggunakan metode MAPE untuk mengetahui persentase *error*nya. Selanjutnya, nilai frekuensi natural dan frekuensi eksitasi digunakan untuk memeriksa apakah pondasi mesin induk mengalami resonansi atau tidak.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Defleksi

*Deflect* atau defleksi merupakan perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan *vertical* yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan [5]. Defleksi balok yang ditumpu secara sederhana dengan beban merata sepanjang batang dihitung menggunakan Persamaan 1 [6].

$$\Delta max = \frac{5wl^4}{384EI} \quad (1)$$

Defleksi yang ditumpu secara sederhana pada beban terpusat yang tidak berada di tengah batang dihitung menggunakan Persamaan 2 [6].

$$\Delta max = \frac{Pab(a+2b)\sqrt{3a(a+2b)}}{27EI} \quad (2)$$

Defleksi yang ditumpu secara sederhana pada dua beban terpusat yang memiliki jarak luar pembebanan yang sama dihitung menggunakan Persamaan 3 [6].

$$\Delta max = \frac{Pa}{24EI} (3l^2 - 4a^2) \quad (3)$$

### 2.2 Stiffnes

Kekakuan menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menahan tegangan atau beban tanpa menyebabkan perubahan bentuk (deformasi) atau bisa disebut defleksi. Perhitungan *stiffness* ini menggunakan rangkaian paralel, dimana *stiffnes* disusun secara paralel [7] dengan menggunakan Persamaan 4.

$$k_p = k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n \quad (4)$$

### 2.3 Getaran

Getaran yakni gerakan yang berlangsung secara berulang setelah interval waktu tertentu. Selain itu, gerak osilasi pada suatu benda yang jumlah gerak tersebut menjadikan gerakan sistem mekanik dari getaran.

### 2.4 Frekuensi

Getaran bebas yang dapat terjadi pada suatu benda dapat diistilahkan dengan frekuensi natural, dapat menggunakan Persamaan 5.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5)$$

Selain frekuensi natural, frekuensi karena akibat dari luar disebut frekuensi eksitasi. Persamaan yang digunakan adalah Persamaan 6 [8].

$$\omega = \frac{2\pi \times RPM}{60} \quad (6)$$

### 2.5 Resonansi

Jika frekuensi natural nilainya sama dengan frekuensi eksitasi, maka dapat dipastikan terjadi resonansi [8]. Fenomena resonansi ini dapat

menyebabkan kerusakan struktural dan kenyamanan maupun keselamatan kapal. Persamaan resonansi menggunakan Persamaan 7.

$$\omega/\omega_n = 1 \quad (7)$$

### 2.6 Validasi Nilai Frekuensi Natural Perhitungan Manual dan *Finite Element Software*

Penggunaan *finite element software* ini dilakukan untuk menganalisa nilai frekuensi natural pondasi mesin induk. Selanjutnya, hasil dari analisis menggunakan *software* akan divalidasi dengan perhitungan manual. Model divalidasi untuk memperoleh hasil yang akurat dalam analisis dengan membandingkan perhitungan manual dan perhitungan menggunakan *software* [9]. Validasi ini menggunakan *MAPE (Mean Absolute Percentage Error)* dimana semakin kecil nilai *MAPE*, maka semakin baik validasi yang dilakukan [10] perhitungan nilai *MAPE* menggunakan Persamaan 8.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|F_t - A_t|}{A_t} \quad (8)$$

Untuk persentase ketentuan *MAPE* dijelaskan pada Tabel 1.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Spesifikasi *Main Engine* dan Pondasi

Dalam penelitian ini, mesin utama yang digunakan pada kapal kargo dengan bobot 6088 GT adalah mesin Yanmar 8N330-EW, sedangkan pondasi mesin utama dibuat dari material Grade A dengan spesifikasi yang diuraikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

### 3.2 Pemodelan Matematis

Gambar 1 merupakan pemodelan matematis yang diterapkan dalam penelitian ini. Persamaan yang diterapkan dalam penelitian ini merujuk pada Persamaan 9.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (9)$$

Tabel 1. Ketentuan *MAPE*

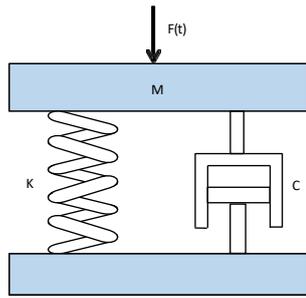
<i>MAPE</i>	Ketentuan
<10 %	Validasi dikatakan sangat baik
10 – 20 %	Validasi dikatakan baik
20 – 50 %	Validasi dikatakan layak
>50 %	Validasi dikatakan buruk

Tabel 2. Data Mesin Induk

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Power	3641 kW
2	Speed	640 rpm
3	Bore	330 mm
4	Stroke	440 mm
5	Mass	43000 kg

Tabel 3. Data Material Konstruksi Pondasi Mesin Induk

No	SPEKIFIKASI	KETERANGAN
1	Type material	A36
2	Yield Stress	290 MPa
3	Tensile Stress	455 MPa



Gambar 1. Pemodelan Matematis

### 3.3 Perhitungan Nilai *Stiffnes*

Perhitungan nilai *stiffness* dilakukan pada penampang konstruksi memanjang dan melintang dari pondasi mesin induk.

Pembebanan terhadap pondasi dalam penelitian ini berasal dari mesin induk. Mesin induk diberi beban merata untuk konstruksi memanjang pada Gambar 3 dan tiap titik frame untuk konstruksi melintang pada Gambar 2. Sebelum memperoleh nilai *stiffness*, terlebih dahulu dilakukan perhitungan defleksi.

### 3.4 Perhitungan Nilai Defleksi

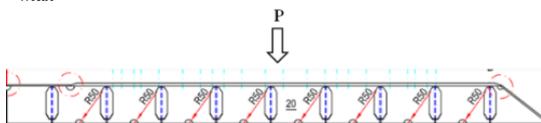
#### 3.4.1 Konstruksi Memanjang

Pada Gambar 4 adalah pondasi mesin induk dengan konstruksi memanjang. Nilai momen inersia konstruksi tersebut adalah

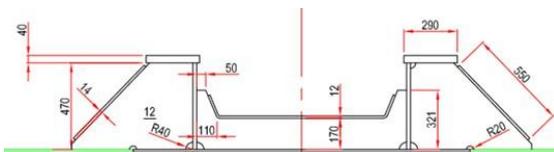
$$\begin{aligned}
 I_{total} &= I_1 + I_2 \\
 &= 1,527 \times 10^8 \text{ mm}^4 + 3,595 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\
 &= 512219571,43 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Nilai defleksi pada konstruksi memanjang pada Gambar 5 adalah sebagai berikut :

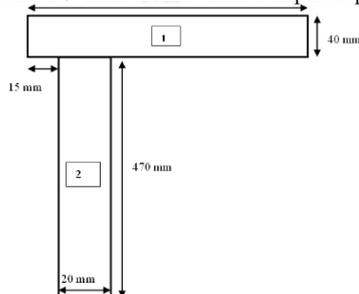
$$\Delta_{max} = 4,34438 \text{ mm}$$



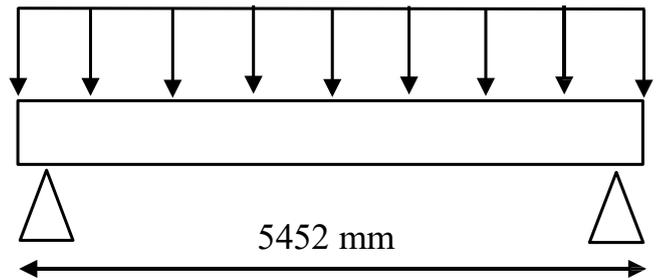
Gambar 2. Konstruksi Pondasi Tampak Samping



Gambar 3. Konstruksi Pondasi Tampak Depan



Gambar 4. Konstruksi Penopang *Main Engine* Tampak Depan



Gambar 5. Konstruksi Memanjang Penopang Mesin Induk

#### 3.4.2 Konstruksi Melintang *Bracket* Luar dan Dalam

Pada Gambar 6, *bracket* luar dan dalam merupakan bagian dari konstruksi melintang pondasi mesin induk. Perhitungan untuk momen inersia dan defleksi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{total} &= I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \\
 &= 4,59 \times 10^8 \text{ mm}^4 + \\
 &\quad 4,85 \times 10^8 \text{ mm}^4 + \\
 &\quad 1,86 \times 10^9 \text{ mm}^4 + \\
 &\quad 3,36 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 &= 6,17 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 \Delta_{total} &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 \\
 &= 3,17 \times 10^{-1} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 3.4.3 Konstruksi Melintang *Bracket* Depan

Pada Gambar 7, *bracket* depan adalah bagian dari konstruksi melintang pondasi mesin induk. Perhitungan untuk momen inersia dan defleksi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{total} &= I_1 + I_2 + I_3 \\
 &= 8,51 \times 10^7 \text{ mm}^4 + 1,81 \times 10^8 + \\
 &\quad 2,41 \times 10^7 \\
 &= 2,898 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\
 \Delta_{total} &= 1,908 \times 10^{-5} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

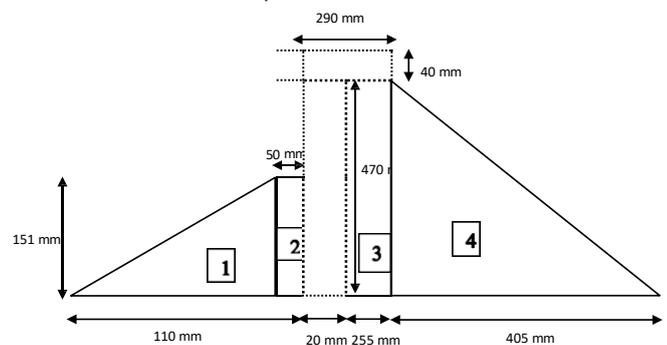
### 3.5 Nilai *Stiffnes* Konstruksi Memanjang dan Melintang

#### 3.5.1 Konstruksi Memanjang

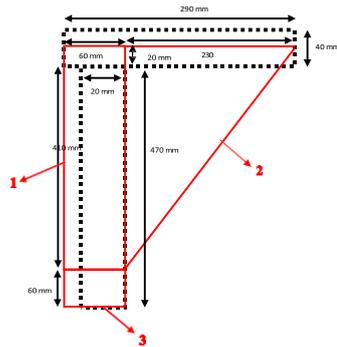
$$\begin{aligned}
 k_{eq} &= 2 \times k \\
 &= 2 \times 4,85 \times 10^4 \text{ N/mm} \\
 &= 9,71 \times 10^4 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

#### 3.5.2 Konstruksi Melintang *Bracket* Dalam dan Luar

$$\begin{aligned}
 k_{eq} &= 2 \times k \\
 &= 2 \times 6,66 \times 10^5 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 6. Konstruksi *Bracket* Pondasi Tampak Depan



Gambar 7. Konstruksi *Bracket* Depan Pondasi Tampak Depan

$$= 1,33 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

### 3.5.3 Konstruksi Melintang *Bracket* Depan

$$k_{eq} = 2 \times k$$

$$= 2 \times 1,105 \times 10^{10} \text{ N/mm}$$

$$= 2,211 \times 10^{10} \text{ N/mm}$$

## 3.6 Perhitungan Nilai Frekuensi Natural

### 3.6.1 Perhitungan Secara Manual

Perhitungan nilai frekuensi natural pondasi mesin induk secara manual adalah

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega_n = 47,519 \text{ rad/s}$$

$$\omega_n = 7,5629 \text{ Hz}$$

### 3.6.2 Analisis Menggunakan *Finite Element Software*

Analisis nilai frekuensi natural pondasi mesin induk menggunakan *software* dapat dilihat pada Gambar 8.

## 3.7 Validasi Nilai Frekuensi Natural dari Perhitungan Manual dan Analisis *Software* Menggunakan Metode *MAPE*

Perhitungan untuk validasi nilai *MAPE* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Nilai } MAPE &= \frac{|\omega_n \text{ Manual} - \omega_n \text{ Software}|}{\omega_n \text{ Manual}} \times 100\% \\ &= \frac{7,563 \text{ hz} - 7,804 \text{ hz}}{7,804 \text{ hz}} \times 100\% \\ &= 3,19\% \end{aligned}$$

Untuk perbandingan nilai frekuensi natural antara perhitungan manual dan analisis *software* dapat dilihat pada Tabel 4.

Validasi dianggap sangat baik karena nilai *MAPE* < 10%.

## 3.8 Perhitungan Nilai Frekuensi Eksitasi

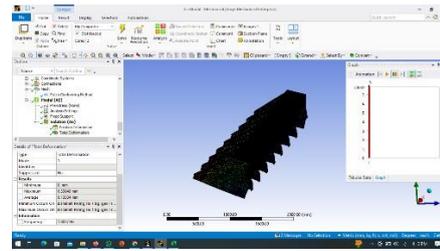
Perhitungan nilai frekuensi eksitasi menggunakan 5 variasi RPM yakni 350 RPM, 400 RPM, 478 RPM, 480 RPM, dan 495 RPM. Perhitungan nilai frekuensi eksitasi mesin induk adalah

$$\omega = \frac{2\pi \times \text{RPM}}{60}$$

$$\omega \text{ untuk } 350 \text{ RPM} = 36,633 \text{ rad/s}$$

$$\omega \text{ untuk } 400 \text{ RPM} = 41,867 \text{ rad/s}$$

$$\omega \text{ untuk } 478 \text{ RPM} = 50,031 \text{ rad/s}$$



Gambar 8. Nilai Frekuensi Natural dari Analisis *Software*

Tabel 4. Perbandingan Nilai Frekuensi Natural Perhitungan Manual dan Analisis *Software*

Perhitungan Manual	Analisis <i>Software</i>
7,563 Hz	7,804 Hz

$$\omega \text{ untuk } 480 \text{ RPM} = 50,24 \text{ rad/s}$$

$$\omega \text{ untuk } 495 \text{ RPM} = 51,81 \text{ rad/s}$$

## 3.9 Perhitungan Resonansi

Persamaan yang digunakan untuk menentukan apakah terjadi resonansi atau tidak adalah

$$\omega / \omega_n = 1$$

Maka, perhitungan resonansi tiap RPM adalah

$$350 \text{ RPM} = 0,771$$

$$400 \text{ RPM} = 0,881$$

$$478 \text{ RPM} = 1,053$$

$$480 \text{ RPM} = 1,057$$

$$495 \text{ RPM} = 1,09$$

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Pondasi mesin induk menggunakan model matematis yaitu  $F(t) = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx$ . Nilai *stiffness* yang didapatkan pada konstruksi pondasi mesin induk adalah  $9,71 \times 10^7 \text{ N/m}$ . Nilai frekuensi natural yang didapatkan dari perhitungan manual adalah 7,563 Hz, sedangkan nilai frekuensi natural yang didapatkan dari analisis *software* adalah 7,509 Hz. Oleh karena itu, validasi nilai *MAPE* yang didapatkan adalah 0,71%.

Perhitungan resonansi pada setiap RPM adalah sebagai berikut : untuk 350 RPM sebesar 0,771, untuk 400 RPM sebesar 0,881, untuk 478 RPM sebesar 1,053, untuk 480 RPM sebesar 1,057, dan untuk 495 RPM sebesar 1,09. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa nilainya jauh di bawah angka 1, yang mengindikasikan bahwa struktur pondasi berada dalam keadaan aman dan tidak mengalami resonansi pada pondasi mesin induk kapal.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian penelitian ini tidak terlepas atas bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga besar penulis yang telah memberikan semangat,

- dukungan, serta do'a selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak Heroe Poernomo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
  3. Bapak Adi Wirawan Husodo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
  4. Seluruh Dosen dan Karyawan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu selama masa perkuliahan.
  5. Teman – teman seperjuangan Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal angkatan 2020 atas kerjasama dan kekompakan selama menempuh studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. F. I. Asfah and U. T. Kartini, “Peramalan Radiasi Global Matahari Jangka Pendek Menggunakan Modeltriple Exponential Smoothing-Feed Forward Neural Network,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 3, pp. 677–684, 2020, [Online]. Available: <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jurnal-teknik-elektro/article/view/35599>
- [2] A. Imron, “Kerusakan Struktur Akibat Getaran Lokal Pada Kapal Yang Jarang Diperhatikan: Analisis Dan Solusi (Studi Kasus) Structural Damage Due To Local Ship Vibration Resonance: a Widely Overlooked Case, Analysis and Solution,” vol. 9, no. 1, pp. 11–19, 2014.
- [3] M. A. Hasibuan, “Analisis potensi terjadinya resonansi pada kapal patroli cepat dengan metode elemen hingga,” 2017.
- [4] R. Lovelylo, “Analisis Model Getaran Main Engine Pada Pondasi Main Engine Kapal Tanker 6500 Ltdw,” *Proceeding 3rd Conf. Mar. Eng. its Appl.*, pp. 3–6, 2020, [Online]. Available: <http://repository.ppns.ac.id/3239/>
- [5] A. Kurniawan, T. D. Putra, and A. Farid, “Pengaruh Jumlah Plat Besi Terhadap Defleksi Pembebanan Pada Pengujian Superposisi,” *J. Ilm. Widya Tek.*, vol. 24, no. 2, pp. 1–5, 2016.
- [6] AISC, “BEAM DIAGRAMS AND FORMULAS For Various Static Loading Conditions , AISC ASD 8 th ed .,” pp. 1–7, 1980.
- [7] T. Rusianto and A. A. Susastriawan, “GETARAN MEKANIS.” p. 1, 2021.
- [8] T. B. Karyasa, *DASAR-DASAR GETARAN MEKANIS*. Penerbit ANDI, 2011.
- [9] A. Gigih Pradana, A. F. Zakk, P. Mulyatno, and A. Firdaus, “JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Respon Struktur Kapal Oil Tanker 6500 DWT Akibat Beban Tekuk, Geser dan Puntir,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 10, no. 4, pp. 11–21, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naaval>
- [10] P. C. Chang, Y. W. Wang, and C. H. Liu, “The development of a weighted evolving fuzzy neural network for PCB sales forecasting,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 32, no. 1, pp. 86–96, 2007, doi: 10.1016/j.eswa.2005.11.021.