

Analisis Resonansi Shaft Propeller Pada Kapal Ro-Ro Passenger 7756 GT

Muhammad Zulfikar Brigade Putra ^{1*}, Benedicta Dian Alfanda, S.T., M.T. ², Adi Wirawan
Husodo, S.T., M.T. ³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri
Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-III Teknik Permesina Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri
Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Perpipa-an, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Indonesia³

Email: mzulfikar@student.ppns.ac.id^{1*}; benedictadian@ppns.ac.id^{2*}; adi_wirawan@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - This research, the natural frequency and excitation frequency values for resonance have been identified. The analysis was carried out using the eigenvalue matrix method, where the mass and stiffness variables are used to determine the natural frequency values in the propulsion system. In addition, the finite element method was also applied to compare the natural frequency values obtained mathematically. The excitation frequency in the system is generated from the main engine rotation. The modeling results show three natural frequency values, namely 0.3379 rad/s, 4.6663 rad/s and 82.0225 rad/s. The resulting excitation frequency comes from four variations of engine rotation, namely rpm, 65 rpm, 100 rpm, 106 rpm, and 115 rpm. From the comparison between the excitation frequency and the natural frequency, it is known that the propulsion system does not experience resonance

Keyword: Propulsion, Resonance, Mathematical Modeling, Vibration Response, Vibration Limits

Nomenclature

M	= Massa (kg)
K	= Stiffness(N/m)
x	= Perpindahan (m)
$\dot{x}$	= Kecepatan (m/s)
$\ddot{x}$	= Percepatan (m/s ²)
ω_n	= Frekuensi Natural (rad/s)
ω	= Frekuensi Eksitasi (rad/s)
W	= Berat (N)
g	= Gravitasi (9,81 m/s ²)

1. PENDAHULUAN

Kapal memainkan peran penting dalam logistik dan transportasi di seluruh dunia dalam industri maritim. Kapal *Ro-Ro Vehicle Carrier* merupakan jenis kapal yang semula digunakan sebagai pengangkut muatan kendaraan kemudian dialihfungsikan menjadi *Ro-Ro Passenger*, maka diperlukan perubahan sesuai dengan peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 62 Tahun 2019. Dimana kapal penyebrangan dan pengangkut orang harus memiliki paling sedikit 2 (dua) mesin induk.

Kapal ini memiliki mesin utama Hitachi Zosen Man B&W tipe 8S50MC dengan daya 12640 kW pada 127 rpm yang memiliki konfigurasi 2-stroke menggerakkan *propeller* NBS (*New Blade Section*) C-series 5 blade, kemudian 2 unit mesin baru Mitsubishi tipe S12R-T2MPTK dengan daya 1040 kW pada 1650 rpm dengan konfigurasi 4-stroke yang menggerakkan *propeller* MAU-series 4 blade.

Setelah dilakukan penambahan *Main Engine* peneliti ingin mengetahui mesin utama apakah menyebabkan resonansi pada *shaft propeller* tambahan.

Pada penelitian ini menganalisa respon

getaran dari sistem propulsi kapal *Ro-Ro passenger* 7756 Gt dengan pemodelan matematis. Dimana respon getaran tersebut dianalisis menggunakan nilai frekuensi alami dan respon kecepatan yang diberikan akibat eksitasi yang ditimbulkan oleh putaran mesin induk saat kapal beroperasi pada kecepatan dinas.

[1] Penelitian tentang analisis respon getaran *flexible coupling* mesin induk. Penelitian tersebut menggunakan metode pemodelan matematis dengan bantuan software rekayasa komputasi numerik. Data nilai ketidaksejajaran, momen inersia, koefisien kekakuan, dan inersia massa diolah agar didapatkan nilai frekuensi yang digunakan untuk mengetahui terjadinya resonansi serta respon

Penelitian tentang analisa getaran terhadap kamar mesin kapal tanker 6500 LTDW dengan sumber eksitasi dari propeller dan main engine. Pada penelitian tersebut melakukan permodelan dalam bentuk metode elemen hingga menggunakan Software Fusion 360 dengan Modal Frequencies untuk mengetahui nilai frekuensi tiap nodes yang timbul pada kamar mesin [2].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk melakukan penelitian ini maka diperlukan beberapa langkah diantaranya adalah sebagai berikut:

2.1 Kekakuan (*Stiffness*)

[2] Kekakuan merupakan kemampuan suatu materi dalam menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan. untuk menentukan besarnya kekakuan dapat menggunakan Persamaan 1.

$$k = \frac{AE}{l} \quad (1)$$

[3] Menurut hukum Hooke, persamaan dapat

$$k_s = \frac{1}{\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_n}\right)} \quad (2)$$

Sedangkan pegas yang dirangkai paralel dapat menghasilkan pegas dengan konstanta yang lebih besar. Besar konstanta pegas pengganti rangkaian paralel seperti Persamaan 3.

$$k_p = k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_4 \quad (3)$$

2.2 Getaran

Getaran adalah gerakan osilasi yang terjadi secara berulang-ulang dari suatu objek atau sistem terhadap posisi kesetimbangan. Kesetimbangan di sini maksudnya adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut.

2.3 Frekuensi

Frekuensi natural merupakan frekuensi getaran yang muncul secara alami pada suatu sistem ketika sistem tersebut bergetar tanpa adanya *damping* (peredam) maupun gaya dorongan dari luar (eksitasi). Untuk mengetahui nilai frekuensi natural dapat menggunakan Persamaan 4.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

Selain frekuensi natural, getaran juga memiliki frekuensi eksitasi. Frekuensi eksitasi adalah frekuensi yang dihasilkan oleh gaya dari luar sistem yang memiliki kemampuan untuk memengaruhi getaran sistem tersebut. Untuk mencari frekuensi eksitasi akibat perputaran mesin dapat menggunakan Persamaan 5.

$$\omega = \frac{2\pi \times \text{rpm}}{60} \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi

Tabel 1. Spesifikasi Main Engine

Keterangan	Spesifikasi
Merk	MAN Hitachi B&W
Type	8s 50MC-C
Rate Power	12640 kW
Rate Speed	127 RPM
Massa	270900 kg

Tabel 2. Spesifikasi Propeller Shaft

Keterangan	Spesifikasi
Diameter	550 mm
Panjang	7487 mm

Tabel 3. Spesifikasi Intermediate Shaft 1

Keterangan	Spesifikasi
Diameter	480 mm
Panjang	6600 mm

Tabel 4. Spesifikasi Intermediate Shaft 2

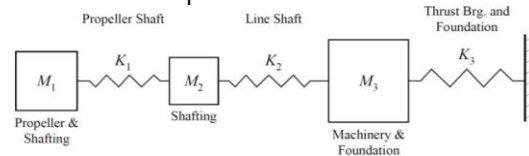
Keterangan	Spesifikasi
Diameter	480 mm
Panjang	6600 mm

Tabel 5. Spesifikasi Propeller

Keterangan	Spesifikasi
Diameter	5300 mm
Blade	5
P/D	0,711
Massa	17230 kg

3.2 Pemodelan Matematis

Gambar 1 menunjukkan skema pemodelan matematis pada sistem dengan koordinat tiga derajat kebebasan yang terdiri dari 3 pegas, 3 massa dan 1 tumpuan.



Gambar 1. Pemodelan Matematis Sistem

M1 : massa *propeller*, meningkat 60% untuk massa tambahan hidrodinamik dan ditambah ½ massa *propeller shaft* (kg)

M2 : ½ massa *propeller shaft* ditambah ½ penjumlahan 2 dari massa *line shaft* (kg)

M3 : massa *line shaft* ditambah massa mesin, ditambah 25% massa mesin untuk struktural (kg)

K1 : kekakuan *propeller shaft* ditambah kekakuan *line shaft* (N/m)

K2 : kekakuan *line shaft* (N/m)

K3 : kekakuan pondasi mesin (N/m)

Adapun bentuk persamaan differensial yang digunakan ialah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} M1 & 0 & 0 \\ 0 & M2 & 0 \\ 0 & 0 & M3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K1 & -K1 & 0 \\ -K1 & (K1+K2) & -K2 \\ 0 & -K2 & (K2+K3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F1(t) \\ F2(t) \\ F3(t) \end{bmatrix}$$

3.3 Perhitungan Nilai Stiffness

Adapun nilai *stiffness* pada tiap titik koordinat ialah sebagai berikut:

K1 =kekakuan *propeller shaft* ditambah kekakuan *flange shaft* ditambah kekakuan *line shaft* (N/m)

$$= \frac{1}{\frac{1}{7.192756 \times 10^9} + \frac{1}{2.4282 \times 10^{10}} + \frac{1}{6.51735 \times 10^9}}$$

$$= 2997171149 \text{ N/m}$$

K2 =kekakuan *line shaft* (N/m)

$$= \frac{1}{\frac{1}{5138239}}$$

$$= 230989.6154 \text{ N/m}$$

K3 =kekakuan elemen *thrust bearing* dan pondasi mesin (N/m)

$$= \frac{1}{\frac{1}{299383539.1}}$$

$$299383539.105 \text{ N/m}$$

3.4 Nilai Frekuensi Natural

Pada Tabel 6 merupakan nilai frekuensi natural yang didapat dengan menggunakan perintah fungsi *eigen* pada *software Matlab*.

Tabel 6. Nilai Frekuensi Natural dengan *Matlab*

Mode Shape	Eigenvalue	Frekuensi Natural (ω_n)	
1	4.5064	2.123 rad/s	0.3379 Hz
2	859.6013	29.319 rad/s	4.6663 Hz
3	2.655×10^3	515.3628 rad/s	82.022 Hz

3.4 Analisis Resonansi

Resonansi dapat menyebabkan kenaikan amplitudo atau simpangan getaran meningkat, secara teoritis dengan ideal frekuensi hingga mencapai tak berhingga. Dalam keadaan nyata, apabila mesin tidak didukung oleh sistem peredaman yang cukup memadai maka struktur pendukung mesin yang bergetar dapat mengalami kerusakan. Untuk menghindari terjadinya resonansi maka nilai frekuensi natural sistem dengan frekuensi eksitasi yang berasal dari gaya luar harus berbeda atau memiliki selisih perbedaan nilai.

Persamaan untuk resonansi dapat menggunakan Persamaan 6.

$$\omega/\omega_n = 1 \quad (6)$$

Pada analisa ini, nilai frekuensi eksitasi yang digunakan merupakan eksitasi akibat putaran mesin induk. Pada Tabel 8 merupakan nilai frekuensi eksitasi pada tiap variasi rpm.

Frekuensi natural ke-1 ($\omega_n = 2.123 \text{ rad/s}$)

$$\begin{aligned} \text{RPM } 65 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{6,80}{2.123} \\ &= 3.204 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 100 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{10,46}{2.123} \\ &= 4.930 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 106 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{11,09}{2.123} \\ &= 5.225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 115 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{12,03}{2.123} \\ &= 5.669 \end{aligned}$$

Frekuensi natural ke-2 ($\omega_n = 29.319 \text{ rad/s}$)

$$\begin{aligned} \text{RPM } 65 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{6,80}{29.319} \\ &= 0.23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 100 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{10.46}{29.319} \\ &= 0.356 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 106 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{11.09}{29.319} \end{aligned}$$

$$= 0.378$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 115 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{12,03}{29.319} \\ &= 0.410 \end{aligned}$$

Frekuensi natural ke-3 ($\omega_n = 515.362 \text{ rad/s}$)

$$\begin{aligned} \text{RPM } 65 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{6,80}{515.3628} \\ &= 0.013201 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 100 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{10.46}{515.3628} \\ &= 0.0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 106 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{11,09}{515.3628} \\ &= 0.021528 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RPM } 115 &= \frac{\omega}{\omega_n} \\ &= \frac{12,03}{515.3628} \\ &= 0.023356 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perbandingan antara nilai frekuensi eksitasi dengan frekuensi natural dapat disimpulkan bahwa sistem tidak mengalami resonansi.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan tiga buah nilai frekuensi natural. Berdasarkan hasil perbandingan ω/ω_n dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi resonansi pada sistem dikarenakan nilai frekuensi natural tidak sama dengan frekuensi eksitasi atau nilai perbandingannya tidak sama dengan satu

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Benedicta Dian Alfanda, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I
2. Bapak Adi Wirawan Husodo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II
3. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis
4. Kerabat dan sahabat seperjuangan Teknik Permesinan Kapal-PPNS

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wiratama, G. (2020). ANALISIS RESPON GETARAN PADA FLEXIBLE COUPLING MESIN INDUK KAPAL BANTU RUMAH SAKIT. Surabaya.
- [2] Laksono, G. D. (2016). Analisa Getaran Ruang Kamar Mesin Pada Kapal Penyebrangan Ketapang - Gilimanuk, KMP. Dharma Rucitra. Surabaya: Repository ITS.
- [3] Firmansyah, B. H., Husodo, A. W., & Gafur, A. (2020). MISALIGNMENT SHAFT PROPELLER KAPAL WHITE PRODUCT TANKER. Proceeding 3rd Conference of Piping Engineering and its Application, (pp. 1-4). Surabaya
- [4] ABS, S. V. (2021). Guidance Notes on Ship Vibration. Retrieved from www.eagle.org
- [5] Putranto, T., Imron, A., & Yulianto, T. (2018). KAJIAN PENENTUAN GETARAN SISTEM PROPULSI. JURNAL KELAUTAN NASIONAL, 1-8.
- [6] Rusianto, T., & Susastriawan, A. P. (2021). GETARAN MEKANIS. Yogyakarta: AKPRIND PRESS.
- [7] Setiawa, F. P., Budianto, & Nugroho, P. N. (2020). Analisa Getaran Terhadap Kamar Mesin Kapal Tanker 6500 LTDW. Jurnsl Teknologi Maritim, 2.