

PENGUKURAN STIFFNESS DAN FREKUENSI NATURAL UNTUK MENILAI RESIKO RESONANSI PADA PONDASI MESIN INDUK

Muhammad Daffa^{1*}, Iqbal N. ^{1*}, Adi Wirawan Husodo, S.T., M.T. ², Heroe Poernomo, S.T., M.T. ³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1* 3}

Program Studi D-IV Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Email: daffa.iqbal@student.ppons.ac.id^{1*}; adi_wirawan@ppons.ac.id^{2*}; @poernomo_heroe@ppons.ac.id^{3*}

Abstract - This research discusses the vibration phenomena on the main engine foundation. Mathematic modelling was developed to describe the vibration characteristics. The stiffness component of the main engine foundation is calculated using the combination method of spring, which considers the longitudinal and transversal foundation construction model. The stiffness of the main engine foundation is 2.09×10^8 N/m and the natural frequency is 16.076 Hz. No resonance occurs in the main engine foundation for the engine speed of 240 RPM, 310 RPM, 347 RPM, 360 RPM, 459 RPM (excitation frequency is 3,99 Hz, 5,16 Hz, 5,78 Hz, 5,99 Hz, 764 Hz). The value of natural frequency at specified engine rotation will be beneficial information for the ship crew to minimize the possibility of resonance occurring in the engine room.

Keyword: Main Engine Foundation, Stiffness, Natural Frequency, Resonance

1. PENDAHULUAN

Pondasi merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk menahan beban di atasnya, yaitu mesin induk. Pondasi ini tentunya harus kuat agar operasional mesin efisien dan aman. *Stiffness* atau kekakuan pondasi ini yang menentukan sejauh mana pondasi dapat menahan beban dinamis yang dihasilkan mesin induk tanpa mengalami deformasi yang berlebihan. Selain itu, frekuensi natural pondasi merupakan frekuensi dimana pondasi akan beresonansi jika terkena beban dinamis yakni frekuensi eksitasi yang sebanding, dimana dapat menyebabkan kerusakan struktural.

Untuk mengetahui terjadi resonansi pada struktur, perlu dilakukan perhitungan *stiffness*, frekuensi natural dan frekuensi eksitasi untuk memprediksi apakah terjadi resonansi pada struktur atau tidak. [1] mengatakan bahwa mengubah frekuensi natural dari struktur yang beresonansi dapat dilakukan dengan meningkatkan kekakuannya, misalnya dengan menambahkan penguatan atau memperbesar modulus penampang merupakan salah satu opsi untuk mencegah terjadinya resonansi. Pada penelitian [2], menganalisis potensi terjadinya resonansi pada kapal cepat menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini melibatkan frekuensi alami kapal dibandingkan dengan frekuensi eksitasi yang dihasilkan oleh mesin induk dan baling-baling. Terjadinya resonansi secara global dengan baling-baling pada mode ke-34, 35, dan 36 namun pada eksitasi mesin induk secara global tidak akan terjadi resonansi. Pada penelitian [3], disebutkan bahwa resonansi secara teoritis dapat menyebabkan amplitudo getaran meningkat tanpa batas saat frekuensi ideal tercapai. Maka dari itu, sangat penting dalam

mencegah terjadinya resonansi karena berefek besar yakni menimbulkan kerusakan pada struktur kapal [1]–[3].

Pada penelitian ini, dilakukan identifikasi model getaran dari mesin induk terhadap pondasi kapal *General Cargo* melalui pemodelan getaran matematis. Selanjutnya, dilakukan perhitungan kekakuan pada pondasi mesin induk dan kemudian dihitung frekuensi natural serta frekuensi eksitasi. Frekuensi natural dan frekuensi eksitasi ini digunakan untuk memeriksa apakah terjadi resonansi pada pondasi mesin induk.

2. METODOLOGI

2.1 Defleksi

Deflect atau defleksi merupakan perubahan bentuk pada batang pada arah *vertical* (*y*) karena beban vertikal yang diterapkan pada struktur tersebut [4]. Defleksi untuk balok yang ditumpu secara sederhana dengan beban merata sepanjang batang maka menggunakan Persamaan 1 [5].

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

Defleksi yang ditumpu secara sederhana pada beban terpusat tidak terdapat pada tengah batang maka menggunakan Persamaan 2 [5].

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

Defleksi yang ditumpu secara sederhana pada dua beban terpusat yang jarak luar pembebanan sama keduanya maka menggunakan Persamaan 3 [5].

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

2.2 Stiffness

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 kekakuan disusun secara paralel [6] dengan 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 (ω_n). Untuk menentukan nilai frekuensi natural, dapat digunakan 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 [7]. Fenomena resonansi ini dapat menyebabkan kerusakan struktural dan kenyamanan maupun keselamatan kapal. Persamaan resonansi menggunakan Persamaan 7.

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi mesin induk dan Pondasi

Pada penelitian ini, *main engine* yang digunakan pada kapal *General Cargo* ini menggunakan mesin induk dari *Antai Wuxi* dengan tipe G8300ZC16B dan untuk pondasi mesin utama menggunakan material Grade A terdapat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

3.2 Pemodelan Matematis

Gambar 1 merupakan pemodelan matematis yang digunakan. Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan persamaan : $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t)$ (8)

3.3 Perhitungan Nilai *Stiffness* (kekakuan)

Nilai kekakuan dilakukan dengan menghitung pada balok konstruksi melintang dan memanjang yang berada pada pondasi mesin induk..

Pembebanan yang diterapkan pada pondasi dalam penelitian ini berasal dari mesin induk. Beban mesin induk diterapkan secara merata pada konstruksi memanjang seperti yang terlihat pada Gambar 3, dan pada setiap titik frame untuk konstruksi melintang seperti pada Gambar 2. Sebelum menentukan nilai kekakuan, perhitungan defleksi akan dilakukan terlebih dahulu.

3.4 Perhitungan Nilai Defleksi

3.4.1. Konstruksi memanjang (Konstruksi A)

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

$$\begin{aligned} I_x \text{ total} &= I_{x1} + I_{x2} \\ &= 3,94 \times 10^8 \text{ mm}^4 + 7,51 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\ &= 1.145.661.236,76 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Nilai defleksi pada konstruksi memanjang pada Gambar 5 adalah sebagai berikut

$$\Delta_{max} = 0,961 \text{ mm}$$

3.4.2. Konstruksi melintang (Konstruksi B)

Pada Gambar 6, *bracket* luar dan dalam termasuk dalam konstruksi melintang pondasi mesin induk. Perhitungan momen inersia dan defleksi adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} I_y \text{ total} &= I_{y1} + I_{y2} + I_{y3} \\ &= 7,02 \times 10^9 \text{ mm}^4 + \\ &6,34 \times 10^8 \text{ mm}^4 + \\ &4,85 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\ &= 1,25 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{total} &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 \\ &= 8,06 \times 10^{-2} \text{ mm} \end{aligned}$$

3.4.3. Konstruksi melintang *bracket* depan (Konstruksi C)

Pada Gambar 7, *bracket* depan termasuk dalam konstruksi melintang pondasi mesin induk

Perhitungan momen inersia dan defleksi adalah sebagai berikut

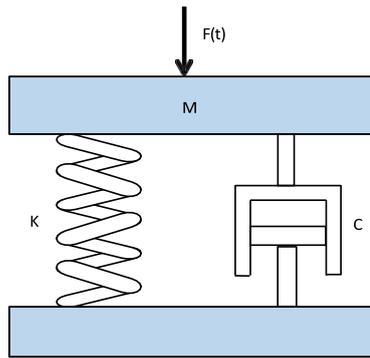
$$\begin{aligned} I_y \text{ total} &= I_{y1} \\ &= 2,97 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\ \Delta_{total} &= 2,05 \times 10^{-4} \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 1. Spesifikasi mesin induk

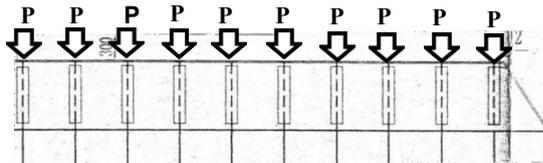
No	Keterangan	Spesifikasi
1	Merk	Antai Wuxi
2	Jenis	G8300ZC16B
3	<i>Rated power</i>	1765 kW
4	Jumlah silinder	8 silinder
5	Massa	20500 kg
6	<i>Rated speed</i>	525 RPM

Tabel 2. Spesifikasi material pondasi

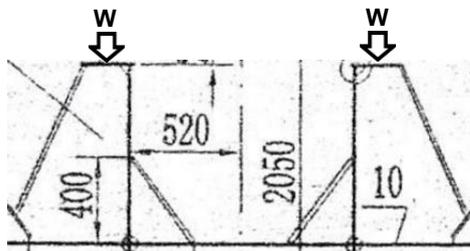
No	Keterangan	Spesifikasi
1	Jenis Material	A36
2	Length	5520 mm
3	Massa Jenis	7850 kg/m ³
4	Yield Strength	272 N/mm ²
5	Modulus Elastisitas	200 Gpa
6	Tensile Strength	479 N/mm ²



Gambar 1. Pemodelan matematis



Gambar 2. Konstruksi pondasi tampak samping



Gambar 3. Konstruksi pondasi tampak depan

3.5 Nilai Stiffness Konstruksi Pondasi

3.5.1 Konstruksi memanjang (Konstruksi A)

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

$$= 2 \times 1,046 \times 10^5 \text{ N/mm}$$

$$= 2,092 \times 10^5 \text{ N/mm}$$

3.5.2 Konstruksi melintang *bracket* dalam dan luar (Konstruksi B)

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

$$= 2 \times 1,24 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

$$= 2,49 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

3.5.3 Konstruksi melintang *bracket* depan (Konstruksi C)

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

$$= 2 \times 4,903 \times 10^8 \text{ N/mm}$$

$$= 9,807 \times 10^8 \text{ N/mm}$$

3.6 Perhitungan Nilai Frekuensi Natural

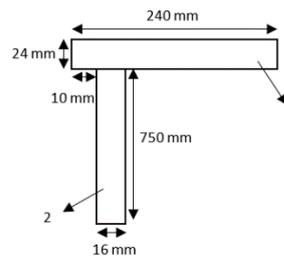
Perhitungan nilai frekuensi natural pondasi mesin induk adalah

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

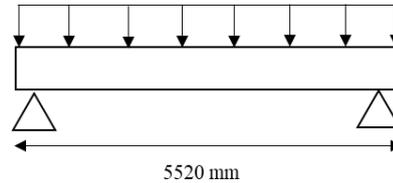
$$\omega_n = 101,019 \text{ rad/s}$$

3.7 Perhitungan Nilai Frekuensi Eksitasi

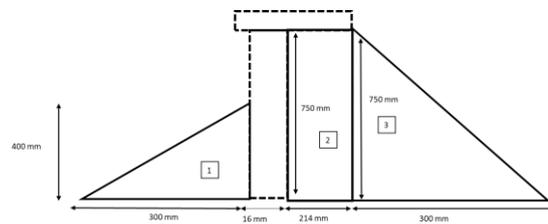
Perhitungan nilai frekuensi eksitasi menggunakan 5 variasi RPM yakni 240 RPM, 310 RPM, 347 RPM, 360 RPM, dan 459 RPM. Perhitungan nilai frekuensi eksitasi mesin induk pada Tabel 3.



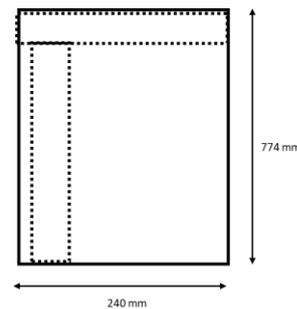
Gambar 4. Konstruksi memanjang pondasi tampak depan



Gambar 5. Pembebanan Merata pada konstruksi A



Gambar 6. Konstruksi B pondasi tampak depan



Gambar 7. Konstruksi C *bracket* depan pondasi

3.8 Perhitungan Resonansi

Persamaan yang digunakan untuk menghitung apakah terjadi resonansi atau tidak adalah

$$\omega/\omega_n = 1$$

Maka, perhitungan resonansi tiap RPM pada Tabel 4.

4. KESIMPULAN

Setelah menghitung resonansi, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut

Pondasi mesin induk menggunakan persamaan matematis yaitu $F(t) = m\ddot{x} + c\dot{z} + kx$.

Tabel 3. Nilai frekuensi eksitasi tiap RPM

No	Variasi RPM	Frekuensi Eksitasi
1	240 RPM	25,12 rad/s
2	310 RPM	32,447 rad/s
3	347 RPM	36,319 rad/s
4	360 RPM	37,68 rad/s
5	459 RPM	48,04 rad/s

Tabel 4. Nilai resonansi tiap RPM

No	Variasi RPM	Nilai Resonansi
1	240 RPM	0,24
2	310 RPM	0,32
3	347 RPM	0,35
4	360 RPM	0,37
5	459 RPM	0,47

Nilai *stiffness* pada pondasi mesin induk sebesar $2,09 \times 10^8$ N/m. Nilai frekuensi natural yang didapatkan dari pondasi mesin induk sebesar 101,0087 rad/s.

Perhitungan resonansi pada setiap RPM didapatkan untuk 240 RPM yakni 0,24. Untuk 310 RPM yakni 0,32. Untuk 347 RPM yakni 0,35. Untuk 360 RPM yakni 0,37 dan untuk 459 RPM yakni 0,47. Nilai perhitungan ini jauh dari angka 1 dimana struktur pondasi dalam keadaan aman dan tidak terjadinya resonansi pada struktur pondasi mesin induk kapal.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa penyelesaian jurnal ini tidak lepas dari bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak. Dengan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan, semangat, motivasi, materi, kasih sayang, dukungan penuh, dan doa selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak Adi Wirawan Husodo, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing I yang telah membimbing, mengarahkan, dan mendukung penulis.
3. Bapak Heroe Poernomo, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing, mengarahkan, dan mendukung penulis
4. Teman-teman dari Teknik Permesinan Kapal PPNS yang memberi semangat, motivasi, mendukung penulis.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] M. A. Hasibuan, "Analisis potensi terjadinya resonansi pada kapal patroli cepat dengan metode elemen hingga," 2017.
- [3] R. Lovelylo, "Analisis Model Getaran Main Engine Pada Pondasi Main Engine Kapal Tanker 6500 Ltdw," *Proceeding*

- [4] *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," *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. 1980.
- [7] T. Rusianto and A. A. Susastriawan, *GETARAN MEKANIS*. AKPRIND PRESS, 2021.
- [8] T. B. Karyasa, *DASAR-DASAR GETARAN MEKANIS*. Penerbit ANDI, 2011.
- [9] Alamsyah, D. P. Hapsari, A. I. Wulandari, and ..., "Getaran Torsional Sistem Propulsi Kapal Tug Boat," *J. Penelit. ...*, vol. 25, no. 2, pp. 105–109, 2021, doi: 10.25042/jpe.112021.04.