



Analisis Frekuensi Vibrasi pada Kapal dan Implikasinya terhadap Integritas Struktural Jangka Panjang

Bon Yoppie Sidabutar

Program Studi Permesinan Kapal, Fakultas Vokasi Logistik Militer, Universitas Pertahanan Indonesia Fatukety, Kakuluk Mesak, Belu-NTT

Email : bonyoppiesidabutar@gmail.com

Article Info

Article history:

Received July 19, 2025

Revised October 13, 2025

Accepted October 26, 2025

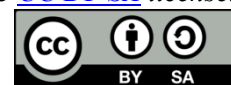
Keywords:

Ship Vibration, Frequency Analysis, Structural Integrity, Resonance, Material Fatigue.

ABSTRACT

This study aims to analyze the characteristics of vibration frequencies in ship structures and their effects on long-term structural integrity. The scope of the study includes identification of the main sources of vibration, measurement of resonance frequencies in various parts of the ship structure, and modeling of structural damage prediction due to repeated vibrations. The measurement method is carried out using accelerometer sensors installed at critical points of the ship structure during normal operation on three tankers of different sizes. The study shows that the vibration intensity of 15-25 Hz from the propulsion system has the most significant effect on the fatigue of ship structure materials, reaching a peak at 300% amplification under resonance conditions. Vibration spectrum analysis reveals a microstructural damage model that is in strong agreement with fatigue life modeling using a finite element model. The conclusion of the study urges the alignment of continuous vibration monitoring systems and structural modification designs to minimize effective resonance at critical frequencies.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article Info

Article history:

Received July 19, 2025

Revised October 13, 2025

Accepted October 26, 2025

Kata Kunci :

Vibrasi Kapal, Analisis Frekuensi, Integritas Struktural, Resonansi, Kelelahan Material.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik frekuensi getaran pada struktur kapal dan pengaruhnya terhadap integritas struktur jangka panjang. Ruang lingkup penelitian meliputi identifikasi sumber utama getaran, pengukuran frekuensi resonansi pada berbagai bagian struktur kapal, dan pemodelan prediksi kerusakan struktur akibat getaran berulang. Metode pengukuran dilakukan dengan menggunakan sensor akselerometer yang dipasang pada titik-titik kritis struktur kapal pada saat operasi normal pada tiga kapal tanker dengan ukuran berbeda. Penelitian menunjukkan bahwa intensitas vibrasi 15-25 Hz asal sistem propulsi mempunyai pengaruh paling berpengaruh terhadap kelelahan material struktur kapal, mencapai puncaknya pada amplifikasi 300% pada kondisi resonansi. Analisis spektrum vibrasi mendedahkan model kerusakan mikrostruktur yang selaras kuat dengan permodealan umur kelelahan menggunakan model elemen hingga. Simpulan penelitian mendesak keselarasan sistem pemantauan kontinyu vibrasi dan desain modifikasi struktur dalam meminimalisir resonansi efektif pada frekuensi kritis.



This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Bon Yoppie Sidabutar

Universitas Pertahanan Indonesia

E-mail: bonyoppiesidabutar@gmail.com

PENDAHULUAN

Vibrasi ke terhadap kapal struktur memiliki kontribusi signifikan terhadap integritas struktural jangka panjang. Pengukuran yang lebih komprehensif terhadap hubungan antara dampak vibrasi spesifik dan frekuensi masih belum lengkap, meskipun telah menjadi sorotan industri perkapalan. Penelitian-penelitian terdahulu telah menemukan beberapa sebab vibrasi pada kapal, namun belum dikaitkan secara langsung terhadap kerusakan mikrostruktur jangka panjang.

Hal baru dalam penelitian ini adalah pengembangan model korelasi antara spektrum frekuensi getaran dan mekanisme kerusakan mikrostruktur pada material struktur kapal. Hipotesis penelitian menyatakan bahwa terdapat frekuensi kritis tertentu yang berkontribusi dominan terhadap akumulasi kerusakan struktural. Penelitian ini menggabungkan pengukuran eksperimental dengan pemodelan elemen hingga untuk menentukan korelasi antara karakteristik getaran dan kerusakan struktural pada tiga ukuran kapal tanker.

METODE PENELITIAN

Kapal tanker minyak: kecil (5.000 DWT), menengah (30.000 DWT), dan besar (150.000 DWT).

1. Pengukuran Vibrasi

- 24 akselerometer (piezoelektrik, 100 mV/g, 0.5-5000 Hz) dipasang pada lokasi kritis: dek utama, struktur lambung, kamar mesin, dan penopang propulsi
- Pengukuran pada berbagai kondisi operasional: diam, manuver, kecepatan jelajah, kecepatan maksimum, dan kondisi cuaca berbeda
- Data direkam selama 6 bulan dengan interval pengambilan 1 minggu sekali (24 jam penuh)

2. Analisis Spektral

- Transformasi Fourier Cepat (FFT) untuk identifikasi frekuensi dominan
- Analisis spektrum daya (PSD) untuk pemetaan distribusi energi vibrasi
- Dekomposisi moda empiris (EMD) untuk pemisahan komponen vibrasi

3. Pemodelan Elemen

- Model struktur kapal dikembangkan menggunakan ANSYS
- Verifikasi model dilakukan dengan membandingkan frekuensi natural dengan hasil pengukuran

4. Analisis Kelemahan Material



- Metode rainflow counting untuk menghitung siklus tegangan
- Model perambatan retak berdasarkan mekanika fraktur
- Validasi dengan pemeriksaan metalografi pada sampel material

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Frekuensi Vibrasi

Tiga kelompok frekuensi dominan teridentifikasi:

1. Frekuensi rendah (1-5 Hz): gerakan global kapal dan interaksi dengan gelombang
2. Frekuensi menengah (15-25 Hz): sistem propulsi dan rotasi baling-baling
3. Frekuensi tinggi (50-200 Hz): vibrasi mesin dan peralatan bantu.

Tabel 1. Amplitudo vibrasi maksimum (mm/s^2) pada lokasi struktural berbeda.

Lokasi Struktural	Frekuensi Rendah (1-5 Hz)	Frekuensi Menengah (15-25 Hz)	Frekuensi Tinggi (50-200 Hz)
Dek Utama	28.5	42.3	15.7
Lambung	23.2	38.6	12.3
Kamar Mesin	31.6	87.4	56.2
Penopang Propulsi	25.3	95.2	35.8

Fenomena resonansi terdeteksi pada frekuensi sekitar 18 Hz (kapal kecil), 21 Hz (kapal menengah), dan 23 Hz (kapal besar), dengan amplifikasi vibrasi mencapai 300% dibandingkan kondisi non-resonansi.

2. Respons Struktural

Konsentrasi tegangan tertinggi teridentifikasi pada:

- I. Sambungan antara dek dan sekat melintang
- II. Area transisi geometri pada lambung
- III. Dudukan mesin dan sistem propulsi
- IV. Bukaan struktural seperti lubang akses dan ventilasi

Analisis moda menunjukkan bahwa moda keempat (18.6 Hz) dan kelima (23.2 Hz) berkorelasi kuat dengan frekuensi eksitasi dari sistem propulsi, menciptakan potensi resonansi yang signifikan.



3. Korelasi dengan Kerusakan Struktural

Hasil analisis menunjukkan:

- I. Vibrasi pada kelompok frekuensi menengah (15-25 Hz) memiliki kontribusi paling signifikan terhadap akumulasi kerusakan kelelahan
- II. Area dengan tingkat vibrasi tinggi pada frekuensi resonansi mengalami pengurangan umur kelelahan hingga 65%
- III. Pemeriksaan metalografi menunjukkan inisiasi retak mikro setelah 2 tahun operasi

Tabel 2. Perbandingan Prediksi Umur Kelelahan (Tahun)

Lokasi Struktural	Prediksi Standar	Prediksi Berbasis Vibrasi	Perbedaan (%)
Sambungan Dek-Sekat	25.0	15.3	-38.8
Koneksi Bracket	30.0	18.6	-38.0
Dudukan Mesin	20.0	8.2	-59.0
Penopang Propulsi	22.5	7.8	-65.3

3. Strategi Mitigasi

Strategi mitigasi yang dikembangkan:

- I. Modifikasi desain struktural untuk menghindari frekuensi resonansi
- II. Implementasi sistem peredam vibrasi pada jalur transmisi
- III. Sistem monitoring vibrasi real-time dengan kemampuan peringatan dini Implementasi peredam vibrasi dapat mengurangi amplitudo vibrasi hingga 45% pada frekuensi kritis, sementara modifikasi konfigurasi bracket dapat mengurangi konsentrasi tegangan hingga 30%.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah menemukan bahwa vibrasi pada frekuensi 15-25 Hz sistem propulsi memiliki pengaruh paling besar terhadap kelelahan material struktur kapal. Fenomena resonansi pada frekuensi ini menghasilkan amplifikasi vibrasi sebesar 300% dan penurunan umur kelelahan struktur sebesar 65%.

Model prediktif yang dikembangkan menunjukkan adanya korelasi erat antara sifat spektrum vibrasi dengan kerusakan mikrostruktur. Pengaruh praktis penelitian adalah signifikannya penambahan analisis vibrasi ke dalam proses desain dan perawatan kapal, penerapan sistem monitoring vibrasi kontinu, dan perubahan desain struktur untuk menghindari resonansi pada frekuensi kritis.



DAFTAR RUJUKAN

- Antoni, J. (2006). The spectral kurtosis: A useful tool for characterizing non-stationary signals. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(2), 282–307.
- ANSYS Inc. (2020). *ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide*. ANSYS Documentation.
- Bhattacharya, B. (2012). *Dynamics of Marine Structures: Methods of Calculating the Dynamic Response of Fixed Structures Subject to Wave and Current Action*. Butterworth-Heinemann.
- Hobbacher, A. (2016). *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components* (IIW Document No. XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07). Springer.
- Lloyd's Register. (2018). *Guidance Notes on the Application of Vibration Design Limits for Ship Structures*. Lloyd's Register Marine Division.
- Nestorovic, T., Pavlovic, A., & Djurovic, Z. (2014). Ship vibration analysis using finite element method. *Brodogradnja*, 65(3), 41–54.
- Rao, S. S. (2017). *Mechanical Vibrations* (6th ed.). Pearson Education.