

Pengaruh Material Propeller Kapal Terhadap Karakteristik Getaran Menggunakan Metode Elemen Hingga

Ardan Nagra Coutsar^{1,2✉}, M. Ikhwan Syahtaria³, Ansori⁴, Abdi Ismail⁵,
Dedy Wahyudi^{2,6}

^{1,3,4} Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

² PT PAL INDONESIA, Surabaya, Indonesia

⁵ Pusat Penelitian Teknologi Hidrodinamika, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

⁶ Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 11-07-2023

Direvisi : 05-08-2023

Diterima : 08-08-2023

Kata Kunci:

Metode Elemen Hingga,
Pemilihan Material, Mode
Shape, Propeller, Getaran.

Keywords :

*Finite Element Method,
Material Selection, Mode
Shape, Propeller,
Vibration.*

ABSTRAK

Getaran kapal dapat disebabkan oleh eksitasi propeller serta mesin. Getaran tersebut dapat merambat ke struktur kapal, air, dan udara. Getaran yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan, kebisingan, dan mengganggu misi operasi dari kapal perang. Pemilihan material sangat penting dilakukan untuk menghindari kondisi resonansi. Analisis karakteristik getaran dilakukan dengan menggunakan ANSYS. Hasil yang didapatkan bahwa pemilihan material propeller memiliki dampak signifikan pada kondisi resonansi kapal perang yang dipengaruhi oleh kecepatan mesin. Analisis menunjukkan bahwa spesimen Mn-Al Bronze memiliki deformasi rata-rata dan deformasi maksimum tertinggi, sedangkan spesimen Cu-Ni Al Alloy kebalikannya. Pengaruh peningkatan signifikan tersebut dipengaruhi oleh kenaikan deformasi pada mode 4 dan mode 5 pada frekuensi naturalnya. Disarankan untuk menggunakan propeller yang terbuat dari paduan Mn-Al Bronze jika kapal sering beroperasi pada putaran mesin rendah dan propeller yang terbuat dari Cu-Ni Al Alloy jika sering beroperasi pada putaran mesin tinggi.

ABSTRACT

Ship vibrations can be caused by the excitation of propellers and engines. This vibration can propagate through the ship's structure, water, and air. Excessive vibrations can lead to damage, noise, and interfere with the operation mission of a warship. Material selection is crucial to avoid resonance conditions. The analysis of vibration characteristics is carried out using ANSYS. The results obtained indicate that the selection of propeller material has a significant impact on the resonance conditions of the warship influenced by the engine speed. The analysis shows that the Mn-Al Bronze specimen has the highest average deformation and maximum deformation, while the Cu-Ni Al Alloy specimen has the opposite effect. This significant influence is attributed to the increase in deformation in mode 4 and mode 5 at the natural frequency. It is recommended to use propellers made of Mn-Al Bronze if the ship frequently operates at low engine speeds and propellers made of Cu-Ni Al Alloy if it operates frequently at high engine speeds.

Corresponding Author :

Ardan Nagra Coutsar
Teknologi Daya Gerak, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia
Jl. Salemba Raya No.3, Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10440
Email: ardan.coutsar@tp.idu.ac.id

PENDAHULUAN

Getaran adalah gerak osilasi menuju posisi kesetimbangan. Kesetimbangan adalah keadaan dimana suatu benda diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Jika getaran yang terjadi tidak mengalami redaman, maka persamaan getaran dapat didekati dengan menggunakan fungsi sinusoidal. Ada dua parameter kritis dalam getaran. Parameter tersebut adalah amplitudo dan frekuensi getaran. Amplitudo adalah simpangan terjauh dari titik kesetimbangan (Putranto & Imron, 2018). Sedangkan frekuensi adalah jumlah getaran per satuan waktu. Amplitudo getaran dapat dinyatakan dalam panjang, kecepatan, atau percepatan, sedangkan frekuensi getaran dinyatakan dalam Hz.

Getaran pada kapal disebabkan oleh beberapa sumber eksitasi (Setiawan et al., 2020). Diantaranya adalah eksitasi propeller (Zhang et al., 2014) dan eksitasi mesin (Seong et al., 2020). Getaran pada propeller dapat disebabkan oleh perbedaan tekanan air pada propeller pada saat propeller berputar (Firouzi et al., 2020). Selain itu getaran terjadi juga diakibatkan mesin akibat adanya gerakan aksial dari piston. Getaran pada kapal dapat menjadi cukup signifikan ketika terjadi *misalignment* pada komponen yang berputar, seperti poros dan propeller.

Getaran kapal dapat merambat pada struktur kapal dan media sekitarnya, seperti air (Tani et al., 2016) dan udara (Sasono, 2007). Perambatan getaran pada struktur dapat menyebabkan kerusakan struktur dan komponen pada kapal ketika terjadi resonansi (Imron, 2014). Sedangkan di media udara dan air, getaran dapat menimbulkan kebisingan. Kebisingan yang berlebih dapat mengganggu kenyamanan penumpang atau awak kapal itu sendiri.

Pada kapal perang, getaran merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan. Selain dapat menimbulkan kerusakan pada struktur dan komponen penting, getaran yang berlebihan dapat mengganggu misi kapal, terutama pada saat misi pengintaian. Kapal perang harus cukup senyap pada saat misi pengintaian dilakukan (Riola et al., 2020). Propeller merupakan salah satu penyumbang getaran yang paling signifikan dari kapal (Seong et al., 2020). Sedangkan jenis dari material propeller kapal dapat berasal dari berbagai jenis.

Dengan adanya fenomena tersebut, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh material terhadap karakteristik getaran. Dengan memilih material yang tepat, diharapkan frekuensi natural dari propeller berada jauh terhadap frekuensi eksitasi dari kapal. Sehingga resonansi dapat dihindari.

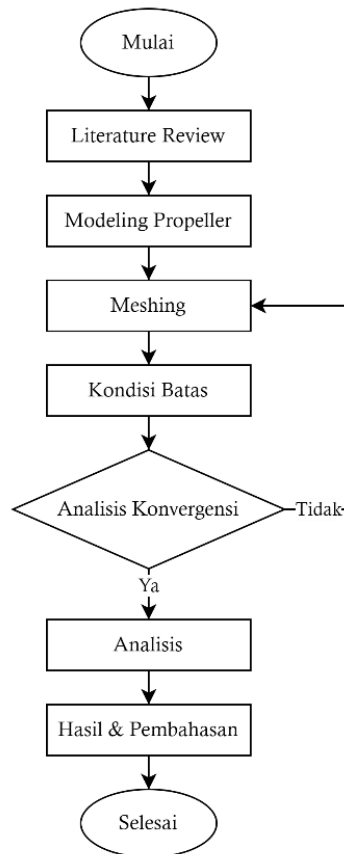
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode numerik. Metode tersebut adalah metode elemen hingga atau biasa disebut dengan *Finite Element Method* (FEM). *Software* yang digunakan pada penelitian ini adalah ANSYS Student Version 2023 R1.

Penelitian diawali dengan melakukan tinjauan pustaka. Tinjauan pustaka dilakukan dengan melakukan studi literatur pada jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan getaran khususnya pada propeller kapal. Selain itu, studi pustaka juga dilakukan untuk mencari data aktual dan model dari propeller kapal perang. Langkah selanjutnya adalah pemodelan. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* 3D CAD. Propeller dimodelkan dan diekspor menggunakan format iges. Beberapa parameter propeller perlu dimodelkan agar sesuai dengan kondisi aktual propeller. Parameter tersebut adalah diameter propeller, pitch propeller, *area expanded*, dan *area development*.

Model divalidasi dengan membandingkan massa sebenarnya dengan massa model. Penentuan kondisi batas dilakukan pada propeller. Pada *software* ANSYS, tumpuan jepit diaplikasikan pada hub propeller, dan sisi lainnya dibiarkan bebas. Pembebanan tidak dilakukan karena analisis yang dilakukan adalah analisis modal. Konvergensi perlu dilakukan dengan melakukan beberapa simulasi menggunakan ukuran elemen yang berbeda serta melihat hasil frekuensi pada mode pertama yang dihasilkan dari berbagai ukuran elemen.

Studi konvergensi dilakukan dengan memanfaatkan fitur parametrik pada *software* ANSYS. Pada fitur parametrik ini ukuran elemen yang digunakan diantaranya adalah 200 mm, 140 mm, 100 mm, 30 mm, 20 mm, 15 mm, dan 14 mm. Ukuran elemen ini akan menghasilkan beberapa frekuensi pada mode pertama. Simulasi dikatakan konvergen jika nilai beberapa variabel yang dihasilkan dari beberapa simulasi pada frekuensi mode pertama tersebut mendekati nilai tertentu. Batas toleransi konvergen untuk hasil simulasi numerik adalah 2% (Zhou et al., 2021).



Gambar 1. Diagram Metodologi

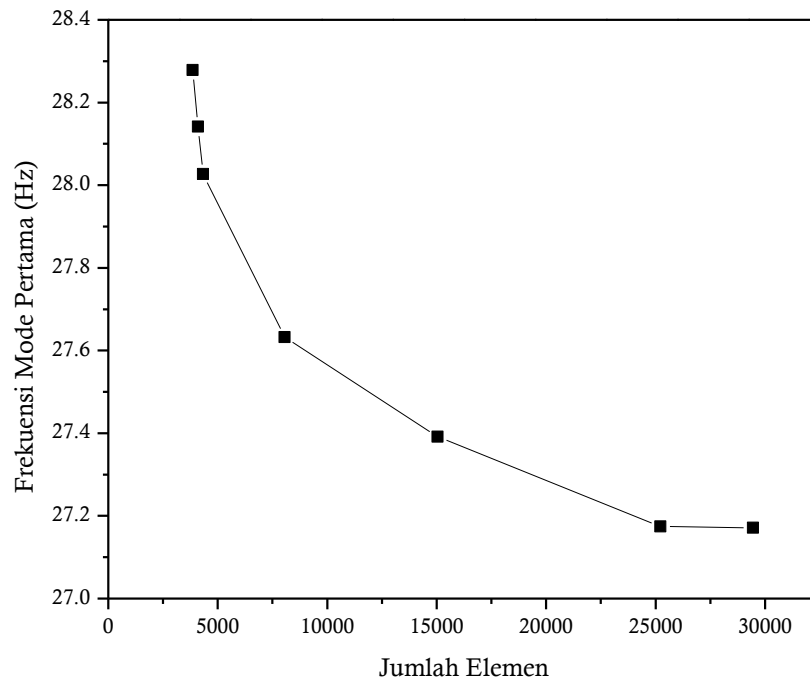
Analisis dilakukan dengan membandingkan frekuensi pada enam mode pertama dari beberapa variasi material propeller (Khosravi & Heydari, 2014). Analisis modal dilakukan pada model yang telah dibuat. Analisis modal merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis frekuensi natural struktur dan *mode shape* dari struktur. Analisis modal dapat dilakukan dengan menghitung nilai eigen dan vektor eigen dari matriks kekakuan struktur. Nilai eigen mewakili frekuensi natural struktur, sedangkan vektor eigen mewakili bentuk mode. Analisis modal pada ANSYS dapat membantu mengidentifikasi potensi masalah resonansi. Diagram alir pengerjaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Konvergensi

Analisis konvergensi adalah metode komputasi yang digunakan untuk mengevaluasi ketepatan dari sebuah model. Prosedurnya terdiri dari menyempurnakan *grid* atau *mesh* secara sistematis yang digunakan untuk mendiskritisasi area yang diamati dan kemudian membandingkan hasil simulasi yang diperoleh pada setiap tahap penyempurnaan untuk memastikan hasil yang didapatkan mendekati suatu nilai. Tujuan utamanya adalah untuk

mengidentifikasi resolusi *grid* minimum yang diperlukan untuk mencapai tingkat akurasi tertentu dalam suatu hasil simulasi.



Gambar 2. Analisis Konvergensi

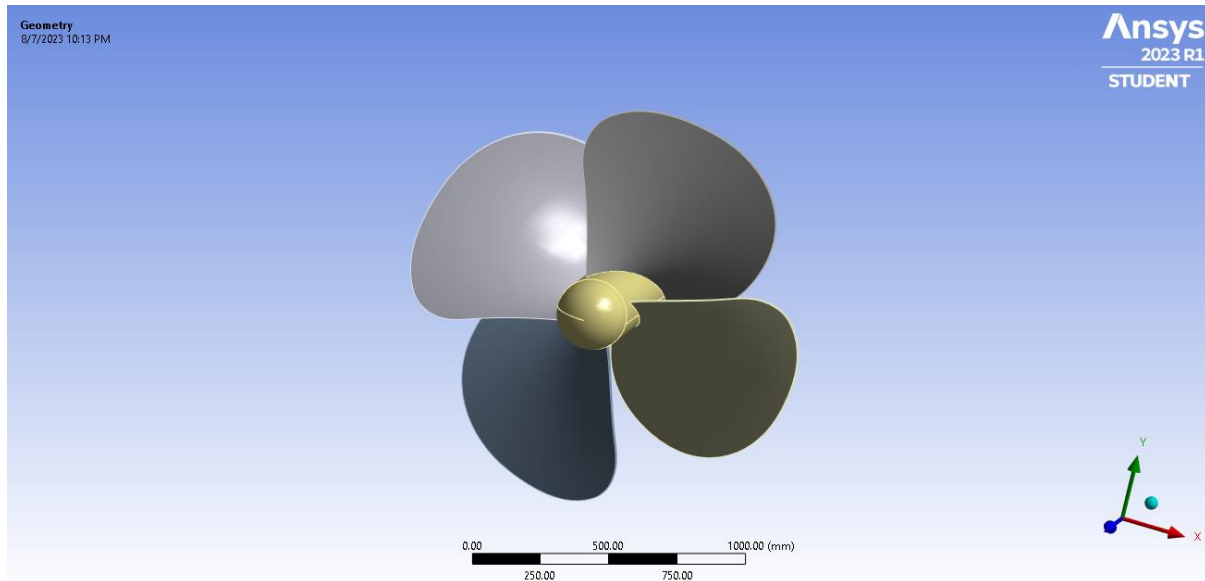
Gambar 2 menunjukkan hasil analisis konvergensi. Analisis konvergensi dilakukan dengan menggunakan ukuran elemen 200 mm, 140 mm, 100 mm, 30 mm, 20 mm, 15 mm, dan 14 mm. Didapatkan jumlah elemen berturut-turut adalah 3853, 4107, 4329, 8060, 15050, 25218, 29450. Frekuensi pada mode pertama dari jumlah elemen yang dihasilkan dilakukan analisis. Hasil analisis menunjukkan bahwa frekuensi mode pertama berkurang dengan meningkatnya ukuran elemen. Jumlah elemen terbanyak memiliki frekuensi mode pertama 28,278 Hz, sedangkan jenis elemen terkecil memiliki frekuensi mode pertama 27,171 Hz. Jumlah elemen yang digunakan dalam analisis meningkat seiring dengan penurunan ukuran elemen. Hasil simulasi telah konvergen pada saat menggunakan ukuran elemen 15 mm dengan jumlah elemen sebanyak 25218. Sehingga, ukuran elemen 15 mm digunakan pada semua model simulasi.

Pemodelan

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah propeller dari kapal perang. Tabel 1 menunjukkan informasi tentang karakteristik propeller yang dianalisis. Luas *expanded* propeller adalah 1,937 m², rata-rata *pitch* 1700 mm, dan diameter dari propeller adalah 1500 mm. Rasio luas propeller adalah 1,1 dan memiliki empat daun. Karakteristik ini merupakan faktor penting yang menentukan performa dari propeller dan digunakan untuk memodelkan simulasi.

Tabel 1. Dimensi Propeller

Parameter	Nilai	Satuan
Luasan Expanded	1.937	m ²
Mean Pitch	1700	mm
Diameter	1500	mm
Rasio Area	1.1	-
Jumlah Daun	4	-



Gambar 3. Model Propeller

Gambar 3 menunjukkan model propeller yang digunakan dalam analisis. Model diimpor pada ANSYS Student 2023 R1 menggunakan format file IGES. Format ini memungkinkan pemindahan data CAD 3D antara aplikasi yang berbeda. Sumbu propeller sejajar dengan sumbu Z di ANSYS, dan bidang XY tegak lurus terhadap sumbu propeller. Pendefinisian ini sangat penting karena menentukan sistem koordinat untuk model dan menentukan referensi sumbu getaran serta respons yang akan dihasilkan selama simulasi.

Pemodelan Parameter

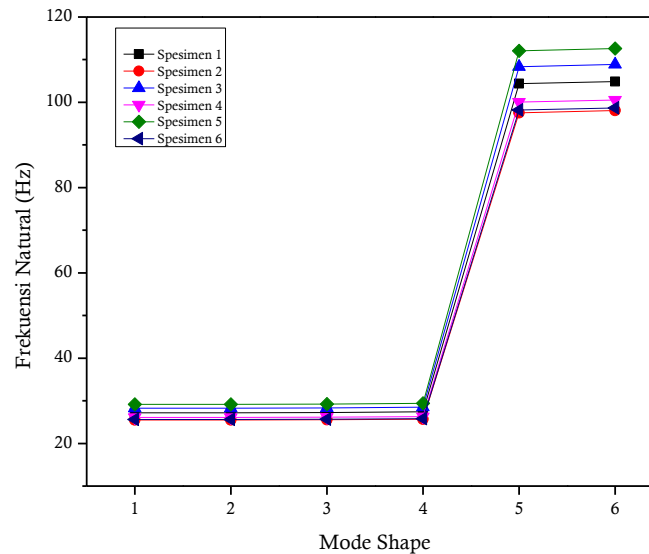
Pemodelan parameter merupakan salah satu fitur yang dimiliki ANSYS. Dengan menggunakan teknik pemodelan parameter, pengguna dapat menyesuaikan model simulasi dengan mudah dengan memasukkan nilai parameter tertentu. Teknik ini membantu memprediksi respons sistem ketika kondisi atau input diubah. Variabel seperti dimensi geometri, material, dan kondisi batas dapat digunakan sebagai parameter yang dapat dimodifikasi. Setelah parameter ditentukan, model simulasi dibuat dengan menghubungkannya dalam fungsi matematika atau persamaan yang mewakili hubungan antara parameter dan respons sistem. Dalam hal ini, pemodelan parameter yang digunakan adalah dengan mengubah material menjadi frekuensi natural propeller serta *mode shape*. Sifat-sifat material dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Material Propeller

Parameter	Remark	E_x (GPa)	ν_{xy}	Density (ρ) (kg/m^3)
Cu-Ni-Al Alloys	Spesimen 1	122.58	0.33	8530
Cu-High Tensile Brass	Spesimen 2	102.97	0.35	8300
Ni-Al-Bronze Alloy	Spesimen 3	117	0.34	7600
Ni-Mn-Bronze Alloy	Spesimen 4	105	0.34	8000
Mn-Al-Bronze	Spesimen 5	125	0.326	7530
Mn-Bronze	Spesimen 6	105	0.34	8300

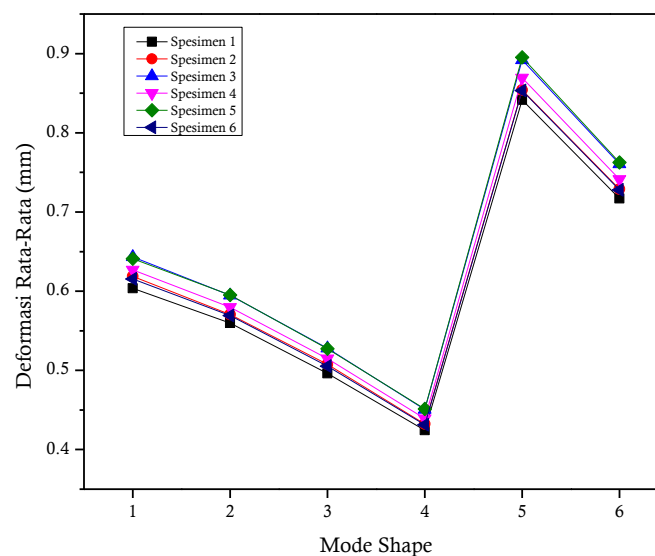
Hasil

Penelitian ini berfokus pada analisis modal propeller menggunakan ANSYS. Hasil analisis dihitung pada enam frekuensi natural pertama untuk semua bahan dan bentuk mode terkait. Bentuk mode ini diantaranya adalah tekukan, puntir, dan tekukan aksial. Hasil analisis *mode shape* dapat dilihat pada Gambar 4.



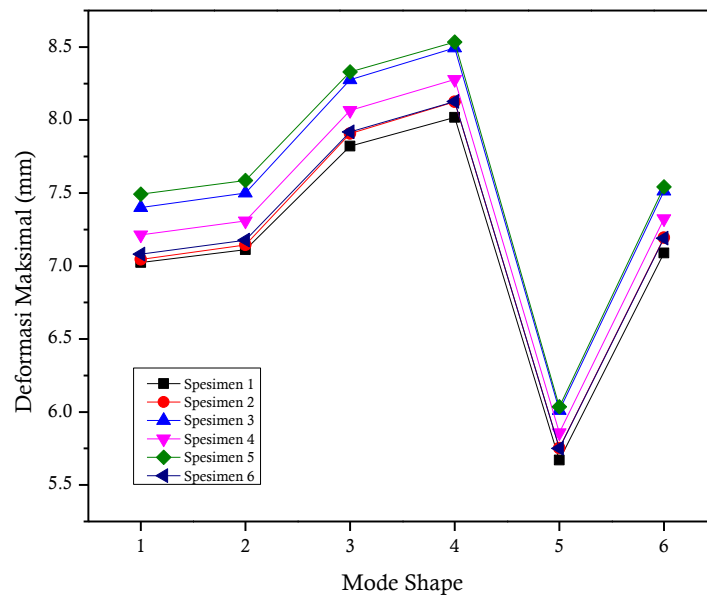
Gambar 4. Mode Shape

Dari hasil simulasi, spesimen 2 dari propeller memiliki frekuensi natural terendah, sedangkan spesimen 5 dari propeller memiliki frekuensi natural tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen 2 dari propeller terjadi resonansi pada frekuensi rendah, sedangkan spesimen 5 dari propeller terjadi pada frekuensi tinggi. Terdapat peningkatan yang signifikan pada frekuensi natural antara mode 4 dan 5 pada semua material propeller yang digunakan. Berdasarkan fenomena tersebut, pemilihan propeller akan mempengaruhi misi kapal perang (Riola et al., 2020). Jika kapal sering beroperasi pada putaran mesin rendah, disarankan menggunakan propeller yang terbuat dari Mn-Al-Bronze. Begitu pula sebaliknya, jika kapal sering beroperasi pada putaran mesin yang tinggi, disarankan untuk menggunakan propeller yang terbuat dari Cu-High Tensile Brass.



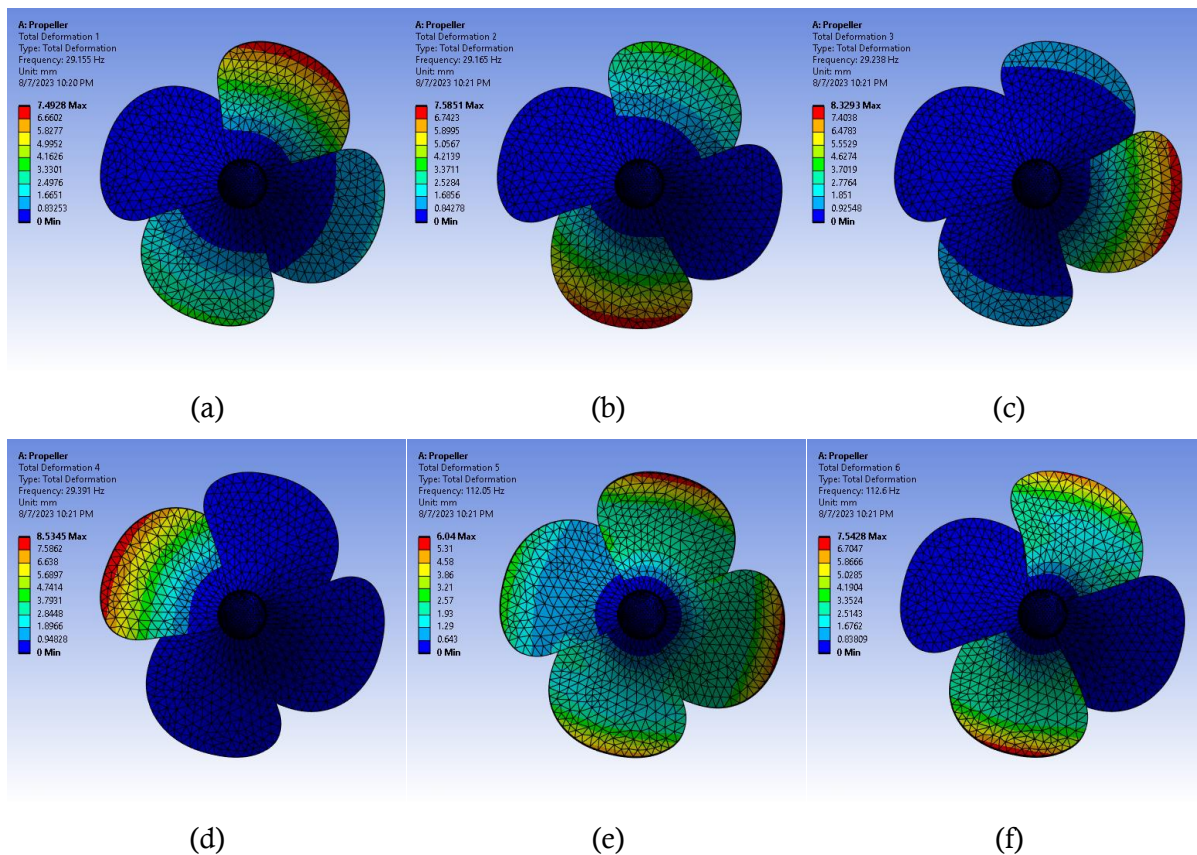
Gambar 5. Deformasi Rata-Rata

Gambar 5 menunjukkan bahwa rata-rata deformasi pada spesimen 5 propeller lebih tinggi dibandingkan spesimen lainnya. Sedangkan deformasi rata-rata terendah terjadi pada spesimen 1 propeller. Gambar tersebut juga menunjukkan peningkatan deformasi pada mode 4 dan mode 5. Hal ini disebabkan pengaruh peningkatan frekuensi natural yang juga terjadi pada mode 4 dan mode 5.



Gambar 6. Deformasi Maksimum

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai deformasi maksimum terbesar terjadi pada propeller dengan pada spesimen 5, sedangkan deformasi maksimum terkecil terjadi pada propeller dengan spesimen 1. Peningkatan deformasi maksimum terjadi dari mode pertama hingga mode keempat untuk semua material propeller. Sementara itu, terjadi penurunan deformasi maksimum pada mode keempat dan kelima dan kembali meningkat pada mode keenam. Mode frekuensi natural juga mempengaruhi ini pada mode keempat dan kelima.



Gambar 7. Visualisasi Deformasi (a) Mode pertama (b) Mode kedua (c) Mode ketiga (d) Mode keempat (e) Mode kelima dan (f) Mode keenam

Gambar 7 menunjukkan visualisasi deformasi yang terjadi pada spesimen 5 atau propeller dengan material Mn-Al Bronze. Karakteristik kontur yang terjadi pada spesimen lainnya relatif sama hanya saja berbeda nilainya. Dari gambar visualisasi tersebut dapat dilihat bahwa deformasi dominan terjadi pada bilah dari propeller. Pada mode 1 hingga mode 4 deformasi signifikan terjadi pada individu bilah dari propeller. Sedangkan pada mode ke 5 deformasi terjadi pada semua bilah dari propeller. Pada mode ke 6, deformasi signifikan hanya terjadi pada bagian dua bilah dari propeller.

Pada mode ke 5 deformasi yang terjadi secara puntiran. Hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan deformasi dari mode ke 4. Karena seakan-akan bilah propeller mendapatkan deformasi yang menyebar pada setiap daunnya. Sebaliknya pada mode ke 5 terjadi kenaikan deformasi rata-rata karena nilai deformasi dari setiap bilah propeller relatif sama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Analisis modal pada propeller kapal menggunakan ANSYS memberikan gambaran mengenai frekuensi natural propeller dan *mode shape* yang terjadi pada propeller. Pemilihan material propeller dapat secara signifikan mempengaruhi kondisi resonansi kapal perang yang bergantung pada putaran mesin. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan kondisi operasional saat memilih material propeller. Analisis juga menunjukkan bahwa spesimen 5 memiliki deformasi rata-rata dan deformasi maksimum tertinggi, sedangkan spesimen 1 memiliki deformasi rata-rata dan deformasi maksimum terendah.

Saran

Berdasarkan fenomena ini, pemilihan propeler akan mempengaruhi misi kapal perang. Jika kapal sering beroperasi pada kecepatan mesin rendah, disarankan untuk menggunakan propeler yang terbuat dari paduan Mn-Al-Bronze. Sebaliknya, jika kapal sering beroperasi pada kecepatan mesin tinggi, disarankan untuk menggunakan propeler yang terbuat dari material Cu-High Tensile Brass.

REFERENSI

- Firouzi, J., Ghassemi, H., & Vakilabadi, K. A. (2020). Vibration equations of the coupled torsional, longitudinal, and lateral vibrations of the propeller shaft at the ship stern. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, 61(61), 121–129. <https://doi.org/10.17402/407>
- Imron, A. (2014). *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*. 9(1), 11–19.
- Khosravi, S., & Heydari, M. M. (2014). Design and Modal Analysis of Gravity Dams by Ansys Parametric Design Language. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 12(2), 167–180. <https://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/866>
- Putranto, T., & Imron, A. (2018). *Kajian Penentuan Getaran Sistem Propulsi Kapal Patroli dengan Metode Elemen Hingga*. 99–106.
- Riola, J. M., Díaz-Cuadra, J. C., & Beltrán, P. (2020). Noise and Vibration Control Program for Warship: The New Spanish Frigate F110. 163–174.
- Sasono, E. J. (2007). Pengukuran Tingkat Kebisingan Pada Kapal Coaster. *Kapal*, 4(1), 30–34.
- Seong, H., Kim, K., Joo, W., & Scho, D. (2020). Ship Vibration Control Utilizing the Phase Difference Identification of Two Excitation Components with the Same Frequency Generated by Diesel Engine and Propeller. 57(3), 160–167.

- Setiawan, F. P., Budianto, S. T., Nur, P., Nugroho, A., Perancangan, T., Kapal, K., Teknik, J., Kapal, B., Perkapalan, P., Surabaya, N., & Kimia, J. T. (2020). Analisa Getaran Terhadap Kamar Mesin Kapal Tanker 6500 LTDW. *Jurnal Teknologi Maritim*, 3(2).
- Tani, G., Viviani, M., Hallander, J., Johansson, T., & Rizzuto, E. (2016). Propeller underwater radiated noise: A comparison between model scale measurements in two different facilities and full scale measurements. *Applied Ocean Research*, 56, 48–66. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.01.007>
- Zhang, G., Zhao, Y., Li, T., & Zhu, X. (2014). Propeller excitation of longitudinal vibration characteristics of marine propulsion shafting system. *Shock and Vibration*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/413592>
- Zhou, L., Gao, J., Hu, C., & Li, Q. (2021). Numerical simulation and testing verification of the interaction between track and sandy ground based on discrete element method. *Journal of Terramechanics*, 95, 73–88. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2021.03.002>