

Getaran *Torsional* Sistem Propulsi Kapal *Tug Boat*

Alamsyah*¹, Dessy Purwita Hapsari¹, Amalia Ika Wulandari¹, Wira Setiawan¹,
Muhammad Uswah Pawara¹

¹Program Studi Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan
Jl. Soekarno-Hatta km.14, Karang Joang, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur

*Email: alamsyah@lecturer.itk.ac.id

DOI: 10.25042/jpe.112021.04

Abstrak

Getaran yang terjadi pada sistem propulsi kapal dapat menyebabkan kemampuan operasi berkurang dan menimbulkan kerusakan pada komponen kapal, salah satu getaran yang terjadi pada sistem propulsi kapal yaitu getaran *torsional*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai osilasi torsi pada sistem propulsi kapal *Tug Boat* serta untuk mengetahui nilai radiasi kebisingan sesuai dengan standart ICES 209 dengan variasi material baja *ST 60*, *stainless steel* dan *carbon steel*, menggunakan metode analitik. Hasil penelitian didapatkan nilai osilasi torsi sistem propulsi dari kapal TB. BPW 3 dengan variasi material baja *ST 60* sebesar 0.0004854, sedangkan untuk material *carbon steel* didapatkan nilai osilasi torsi sebesar 0.0004690 dan sistem propulsi yang menggunakan variasi material *stainless steel* sebesar 0.0004527. Tingkat radiasi kebisingan (*SL*) yang terjadi pada sistem propulsi yang menggunakan variasi material baja *ST 60* yaitu sebesar 133.22 dB, sedangkan untuk material *carbon steel* didapatkan sebesar 133.23 dB dan untuk material *stainless steel* sebesar 133.25 dB, dari ketiga nilai radiasi kebisingan (*SL*) yang dihasilkan masih masuk ke dalam standart tingkat kebisingan (*SL*) ICES 209.

Abstract

The Torsional Vibration of the Propulsion System of Tug Boat Ship. Vibrations that occur in the ship's propulsion system can cause reduced operating capability and cause damage to the ship's components, one of the vibrations that occur in the ship's propulsion system is torsional vibration. The purpose of this study was to determine the value of torque oscillations in Tugboat Ship propulsion systems and to find out the value of noise radiation following ICES 209 standard with variations of *ST 60* steel material, stainless steel, and carbon steel, using analytical methods. The results obtained by the torque oscillation value of the propulsion system from Tugboat Ship BPW 3 with the variation of *ST 60* steel material is 0.0004854, while for carbon steel material, the torque oscillation value is 0.0004690 and the propulsion system that uses stainless steel material variation is 0.0004527. The level of noise radiation (*SL*) that occurs in propulsion systems using variations of *ST 60* steel material is 133.22 dB, while for carbon steel material is 133.23 dB and for stainless steel material is 133.25 dB, of the three noise radiation values (*SL*) produced, is still included in the ICES 209 noise level standard.

Kata Kunci: *Getaran, kebisingan, osilasi torsi, propulsi, tug boat*

1. Pendahuluan

Secara general sistem propulsi kapal terdiri atas komponen utama meliputi motor penggerak utama (*main engine*), sistem transmisi poros dan alat gerak (*propulsor*) [1]. Gaya yang bekerja pada poros adalah *trusht* dari *propeller* yang diawali oleh momen torsi akibat putaran *propeller*, berat *propeller*, dan berat dari pada poros itu sendiri [2]. Poros *propeller* didesain dengan syarat cukup kuat dan aman dalam menahan beban-beban yang bekerja saat beroperasi yang berefek pada umur kelelahan [3].

Getaran yang terjadi pada sistem propulsi kapal memiliki beberapa efek samping yang berpengaruh cukup besar terhadap kemampuan

operasi dan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen kapal itu sendiri. Getaran terjadi akibat adanya benturan antara komponen yang bergerak atau berputar, selain itu, juga dapat disebabkan oleh putaran dari massa yang tidak seimbang yang biasanya terjadi pada baling-baling dan permesinan kapal [4].

Ada beberapa jenis getaran yang terjadi pada sistem propulsi kapal, yaitu getaran *longitudinal*, *lateral* dan *torsional*. Getaran *torsional*, *lateral*, dan aksial dianalisa pada sistem propulsi beserta mesin utamanya [5]. Getaran kapal terjadi dapat ditinjau dalam beberapa hal seperti *flexure* badan kapal (*global vibration*) akibat dari getaran dimana penyebabnya adalah gelombang dan *propeller*, serta getaran lokal sistem konstruksi



maupun komponen - komponen mesin seperti getaran pelat, *shaft*, tiang *mast*, pompa, dan lain-lain [6].

Resonansi getaran muncul disebabkan oleh frekuensi eksitasi dari *propeller*. Getaran timbul akibat *propeller* berputar dimana elemen-elemen pada sistem propulsi saling berinteraksi sehingga hilangnya energi mekanik berupa energi didisipasi melalui struktur dalam bentuk getaran [7]. Pada penelitian ini sistem diberikan kondisi batas agar penyederhanaan kasus diperoleh. Kondisi batas berupa "*force/moment*" yang berfungsi sebagai gaya yang bekerja pada poros *propeller*. Nilai *force* merupakan nilai *thrust*/gaya dorong *propeller* kapal, sedangkan nilai "*moment*" merupakan *moment torsional* hasil dari putaran mesin yang telah direduksi *gearbox* [8]. Untuk menentukan nilai *torsional moment* digunakan pendekatan nilai *Effective Horse Power* dan *Delivery Horse Power* [9].

Getaran yang terjadi pada peralatan yang bergerak atau berputar pada umumnya adalah getaran *lateral* dan getaran *torsional* dimana getaran tersebut sangat berpengaruh terhadap usia sebuah peralatan. Getaran *torsional* jika dibiarkan atau terlalu besar akan berdampak pada puntiran poros yang dapat berakibat pada kerusakan poros tersebut. Perlu penelitian lebih dalam untuk mengetahui nilai osilasi torsi agar mengetahui nilai getaran yang terjadi pada sistem propulsi kapal. J. Duan 2020 menggunakan metode *Finite element method*/Boundary element method dalam mendeteksi radiasi getaran struktur di bawah laut [10]. Pada penelitian ini akan dikaji getaran *torsional* dengan melihat osilasi torsi yang terjadi pada sistem.

2. Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini metode analitis meliputi perencanaan *propeller*, perencanaan poros, perhitungan getaran *torsional* pada sistem propulsi dan perhitungan tingkat radiasi kebisingan kapal.

2.1. Perencanaan *Propeller*

Propeller diidentifikasi sebagai sumber kebisingan utama yang mentransmisikan ke struktur kapal melalui koneksi poros *propeller* yang sebelumnya mendapat medan tekanan yang diproduksi dari bagian buritan kapal [11]. Hal

yang penting sehubungan dengan perancangan *propeller* antara lain, diameter *propeller*, *rpm propeller*, jumlah *blade*, *propeller pitch*, *developed area*, *propeller blade thickness*, *propeller hub*, dan *propeller weight*. Sebagai adopsi *propeller* yang akan digunakan dalam perancangan ini menggunakan data *propeller* dan spesifikasi dari PT. Meranti Nusa Bahari seperti yang terlihat pada Tabel 1 :

Tabel 1. Spesifikasi *Propeller*

Spesifikasi <i>Popeller</i>	Dimensi
Diameter <i>Propeller</i>	1400 mm
<i>Rpm</i>	1800
<i>P/D</i>	0.69
<i>Ae/A0</i>	0.4
<i>N</i>	4
<i>EAR (Expanded Area Ratio)</i>	1.53
Berat <i>Propeller</i>	3122.033 ton
<i>Ip (Inersia Propeller)</i>	302248.86 lb/in s ²
<i>MWR (Mean Widht Ratio)</i>	1.584
<i>BTF (Blade Thickness Fraction)</i>	0.0453

2.2. Perencanaan Poros

Perencanaan poros untuk diameter poros (*Ds*) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus pendekatan, tetapi disini untuk nilai dari diameter poros didapatkan dengan melakukan pengambilan data di galangan kapal PT. Meranti Nusa Bahari. Adapun variabel yang didapatkan seperti diameter poros, daya poros, faktor untuk tipe instalasi propulsi, faktor untuk tipe poros, putaran poros *propeller*, berat poros dan momen inersia poros seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Poros

Spesifikasi Poros	Dimensi
Panjang poros	4500 mm
Diameter poros	127 mm
Factor tipe poros	1.22
Berat poros	0.0036064 lb s ² /in
Momen Inersia	1.914 in ⁴

2.3. Perhitungan Getaran *Torsional*

Dengan mengasumsikan model sistem berputar sehingga diketahui besarnya nilai osilasi torsi pada sistem propulsi. Dalam penelitian ini, sistem propulsi kapal *Tug Boat* disimulasikan menggunakan tiga material yang berbeda, yaitu baja *ST 60*, *carbon steel* dan *stainless steel*.



Dalam perhitungan getaran *torsional* memiliki tiga langkah yaitu, perhitungan frekuensi eksitasi (ω), perhitungan frekuensi natural (ω_n) dan perhitungan osilasi torsi.

• **Perhitungan Frekuensi Eksitasi**

Pada waktu daun baling-baling melewati daerah dengan *wake* tinggi akan terjadi kenaikan gaya dorong atau *thrust*. Untuk baling-baling dengan N jumlah daun, maka untuk setiap putaran akan terjadi N kali kenaikan gaya dorong, karena sebanyak itu pula lah daun baling-baling akan melewati daerah dengan *wake* tinggi tersebut. Dari sini dapat didefinisikan besarnya *blade rate frequency* atau frekuensi eksitasi yang terjadi akibat pengaruh baling-baling, sebagai berikut.

$$\omega = 2\pi \frac{rpm}{60} \cdot N \tag{1}$$

• **Perhitungan Frekuensi Natural**

Setelah mendapatkan nilai frekuensi eksitasi dilanjutkan dengan mencari nilai frekuensi natural menggunakan persamaan 2.

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{J}} \tag{2}$$

Untuk mendapatkan nilai frekuensi natural ada beberapa komponen yang harus dicari terlebih dahulu yaitu nilai kekakuan pegas atau K dan nilai momen inersia massa total atau J . Nilai kekakuan pegas dapat dicari berdasarkan persamaan 3.

$$K = \frac{M}{\phi(L)} = \frac{GJ_A}{L} \tag{3}$$

Dimana, J_A merupakan momen inersia polar penampang yang dapat dihitung menggunakan persamaan 4.

$$J_A = \frac{\pi}{2} (r_0^4 - r_i^4) \tag{4}$$

Selanjutnya, untuk menghitung besarnya G atau modulus geser untuk setiap material menggunakan persamaan 5.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \tag{5}$$

Setelah mendapatkan nilai kekakuan pegas, untuk mendapatkan nilai frekuensi natural harus menghitung nilai momen inersia massa total atau J terlebih dahulu menggunakan persamaan 6.

$$J = 1.25J_{propeller} + 0.34J_{poros} \tag{6}$$

Momen inersia massa total terdiri dari nilai momen inersia massa baling-baling dan momen inersia massa poros, sehingga harus menghitung kedua komponen tersebut untuk mendapatkan nilai J . Momen inersia massa poros atau J_{poros} dapat dihitung berdasarkan persamaan 7.

$$J_{poros} = \rho J_A L \tag{7}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai momen inersia massa baling-baling dengan menggunakan persamaan 8.

$$J_{poros} = 0.25R^2 \frac{W_{propeller}}{g} \tag{8}$$

• **Perhitungan Osilasi Torsi**

Ada sebuah standart pengukuran getaran *torsional* menurut *ABS* yang berkaitan dengan osilasi torsi yang harus dipenuhi karena apabila torsi osilasi ini melebihi ketentuan, gigi-gigi roda pada posisi jepit akan berbenturan pulang balik karena pada umumnya gigi mempunyai *clearance* [6]. Besarnya osilasi torsi dapat dihitung berdasarkan Persamaan 9.

$$\frac{M_s}{Q_o} = \frac{\beta}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \tag{9}$$

2.4. Perhitungan Tingkat Radiasi Kebisingan Kapal

Analisis tingkat radiasi kebisingan yang dihasilkan sistem propulsi kapal yang bersumber dari *propeller* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$SL = 135 - 1,66 \log 10 \left[\frac{fHz}{1Hz} \right] (dB) \tag{10}$$

Dimana SL adalah tingkat sumber kebisingan dan fHz merupakan frekuensi natural [12].

Pengukuran radiasi kebisingan kamar mesin pada kapal-kapal yang berukuran relatif kecil (*tug boat*) melibatkan tingkat kebisingan di udara



sebesar 99 dB dan tingkat kebisingan di bawah air sebesar 162 dB [13]. Pada kapal-kapal kecil juga didapati kompartemen-kompartemen sangat dekat dengan kamar mesin sehingga tingkat radiasi kebisingan semakin tinggi di daerah sekitarnya [14]. Radiasi akustik konstruksi merupakan proses interaksi antara konstruksi bangunan laut yang berada bawah laut dengan fluida [15].

3. Hasil dan Pembahasan

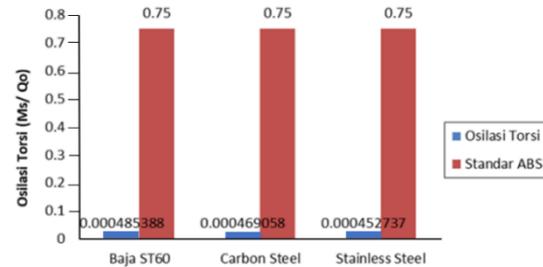
Telah dilakukan perhitungan getaran torsional pada sistem propulsi kapal TB.BPW 3 dengan tiga variasi material yang berbeda yaitu, baja *ST 60*, *carbon steel*, dan *stainless steel*. Sesuai dengan langkah-langkah perhitungan maka didapatkan hasil perhitungan dari setiap material sesuai yang ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan Osilasi Torsi

Jenis Material	Frekuensi Eksistasi	Frekuensi Natural	Osilasi Torsi
Baja <i>ST. 60</i>	120 Hz	11.766 Hz	0.000485
<i>Carbon Steel ST 37</i>	120 Hz	11.567 Hz	0.000469
<i>Stainless Steel 304</i>	120 Hz	11.367 Hz	0.000452

Tabel 3 menunjukkan nilai osilasi torsi pada getaran *torsional* untuk sistem propulsi menggunakan variasi material *stainless steel* menunjukan nilai yang paling kecil dibandingkan dengan variasi material lainnya yaitu sebesar 0.000452. Hal ini disebabkan oleh nilai frekuensi natural (ω) yang didapatkan lebih kecil dari material lainnya yaitu sebesar 11.367 Hz dan nilai *modulus young* (E) serta kerapatan (ρ) *stainless steel* lebih rendah dari material baja *ST60* dan *carbon steel*. Nilai osilasi torsi pada getaran *torsional* untuk sistem propulsi menggunakan variasi material baja *ST 60* menunjukan nilai yang paling besar yaitu sebesar 0.0004854 dan hal ini dikarenakan nilai frekuensi natural (ω) yang didapatkan lebih besar diantara material lainnya yaitu sebesar 11.766 Hz. Untuk material *carbon steel* memiliki nilai osilasi torsi pada getaran *torsional* untuk sistem propulsi sebesar 0.0004690 dengan nilai frekuensi natural (ω) sebesar 11.568 Hz. Selanjutnya, dilakukan pengecekan *standart* getaran *torsional* sesuai dengan *standart ABS*. Menurut hasil perhitungan, nilai osilasi torsi yang didapatkan masih jauh

berada di bawah *standart* getaran torsional menurut *ABS* yaitu sebesar 0.75, sehingga dapat dikatakan getaran torsional yang terjadi pada ketiga material masih aman dan memenuhi *standart* yang berlaku yang ditunjukkan pada Gambar 1.



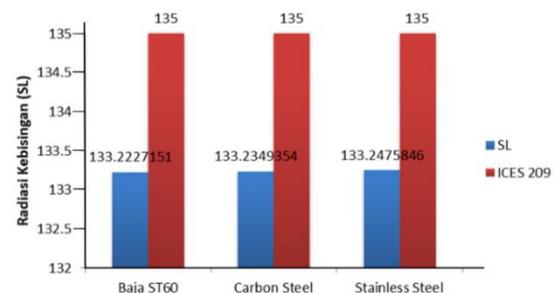
Gambar 1. Osilasi Torsi Pada Sistem Vs ABS Standart

Didapatkan hasil tingkat sumber radiasi kebisingan bawah air (*SL*) sistem propulsi kapal *Tug Boat* pada kecepatan 10 knot untuk masing-masing variasi material seperti baja *ST 60*, *carbon steel*, dan *stainless steel* menggunakan persamaan 10 yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan tingkat kebisingan

Jenis Material	ω_n (Hz)	<i>SL</i> (dB)	<i>ICES 209</i> (dB)	Status
Baja <i>ST. 60</i>	11.7	133.22	135	Acc
<i>Carb. Steel ST 37</i>	11.5	133.23	135	Acc
<i>Stainless Steel 304</i>	11.3	133.25	135	Acc

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan radiasi kebisingan menggunakan Metode Miston (1995) dengan variasi material baja *ST 60* senilai 133.22 dB, untuk material *carbon steel* didapatkan nilai 133.23 dB dan untuk material *stainless steel* bernilai 133.25 dB. Dari ketiga hasil yang didapatkan dapat diketahui bahwa nilai radiasi kebisingan masih berada di bawah nilai *standart* radiasi kebisingan *ICES 209*, hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Radiasi Kebisingan (SL) Pada Sistem Vs ICES 209



Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai radiasi kebisingan (SL) untuk sistem propulsi menggunakan variasi material baja $ST\ 60$ menunjukkan nilai yang paling kecil dibandingkan dengan variasi material lainnya yaitu sebesar 133.22 dB. Nilai radiasi kebisingan (SL) untuk sistem propulsi yang menggunakan variasi material *stainless steel* memiliki nilai yang paling besar yaitu 133.25 dB dan untuk sistem propulsi yang menggunakan variasi material *carbon steel* memiliki nilai radiasi kebisingan (SL) sebesar 133.23 dB.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai osilasi torsi sistem propulsi dari kapal *Tug Boat* menggunakan analisis getaran torsional dengan variasi material baja $ST\ 60$ sebesar 0.0004854, sedangkan untuk material *carbon steel* didapatkan nilai osilasi torsi sebesar 0.0004690 dan sistem propulsi yang menggunakan variasi material *stainless steel* sebesar 0.0004527. Nilai frekuensi natural (ω_n), modulus young (E), dan kerapatan material (ρ) sangat berpengaruh terhadap nilai osilasi torsi yang dihasilkan dimana frekuensi natural linier dengan osilasi torsi dari sistem atau dengan kata lain kenaikan nilai osilasi torsi dipengaruhi oleh kenaikan frekuensi natural sistem. Untuk tingkat radiasi kebisingan (SL) yang terjadi pada sistem propulsi yang menggunakan variasi material baja $ST\ 60$ yaitu sebesar 133.22 dB, sedangkan untuk material *carbon steel* didapatkan sebesar 133.23 dB dan untuk material *stainless steel* sebesar 133.25 dB. Data tersebut menunjukkan bahwa frekuensi natural berbanding terbalik dengan nilai radiasi kebisingan sistem propulsi atau dengan kata lain bahwa ketika terjadi increasing pada nilai frekuensi natural sistem maka akan diikuti dengan nilai decreasing pada radiasi kebisingan (SL). Dari ketiga nilai radiasi kebisingan (SL) yang dihasilkan masih masuk ke dalam standart tingkat kebisingan (SL) ICES 209 yang diijinkan.

Referensi

- [1] M. G. Santosa, "Propulsi Kapal dalam Tinjauan Uji Model," *J. Ilm. Teknol. Marit. WAVE*, vol. 10, no. 1, pp. 25–30, 2016.
- [2] R. C. Yulianto and T. Ariesta, "Analisis Kekuatan Shaft Propeller Kapal Rescue 40 Meter dengan Metode Elemen Hingga," *KAPAL J. Ilmu Pengetah Teknol. Kelaut.*, vol. 16, no. 3, pp. 100–105, 2019.
- [3] A. Dkk, "Analisis Kekuatan dan Umur Kelelahan Shaft Propeller Kapal SPOB," *J. Wave*, vol. 13, no. 2, pp. 91–98, 2019.
- [4] A. B. Sestan, N. Vladimir, N. Vulic, and Ljubenkov, "A Study into Resonant Phenomena in the Catamaran Ferry Propulsion System," *Trans. FAMENA*, vol. 36, no. 1, pp. 35–44, 2012.
- [5] T. Putranto, "Kajian penentuan getaran sistem propulsi Kapal patroli dengan metode elemen hingga," *J. Kelaut. Nas.*, vol. 13, no. 2, pp. 99–105, 2018.
- [6] American Bureau of Shipping, "ABS Guide for Passenger Comfort on Ship Sec.3," 2002.
- [7] A. Dkk, "Analisis Whirling Vibration Pada Sistem Propulsi Kapal Tugboat BPW 3," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 8, no. 2, pp. 92–100, 2020.
- [8] A. Dkk, "Analisis Fatigue Life Pada Poros Kapal TB. 27 M Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Inovtek Polbeng*, vol. 10, no. 2, pp. 144–151, 2020.
- [9] E. V. Lewis, *Principles of Naval Architecture*. Jersey City: Society of Naval Architects & Marine Engineers, 1988.
- [10] J. Duan and et.al, "A hybrid Algorithm of underwater structure vibration & Acoustic radiation-propagation in Ocean Acoustic Channel," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 12, pp. 680–690, 2020.
- [11] J. Bosschers, "A Semi-empirical prediction method for broadband hull-pressure fluctuation and Underwater radiated noise by propeller tip vortex cavitation," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 49, 1–18.
- [12] R. Mitson, "Underwater Noise of Research Vessels. Review and Recommendations, ICES Cooperative Research ReportN. 209," 1995.
- [13] G. P. Kumar and et.al, "Measurement of Small Vessel Machinery Vibration Induced Acoustic Signature Levels," *J. Nav. Archit. Mar. Eng.*, vol. 16, pp. 87–98, 2019.
- [14] A. Brooker and V. Humphey, "Measurement of Radiated Underwater noise from a Small research Vessel in shallow water," *J. Ocean Eng.*, vol. 120, 2015.
- [15] H. et Al, "Influence of C groove on energy performance and noise source of a NACA0009 hydrofoil with tip clearance," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 159, pp. 726–735, 2020.

