

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

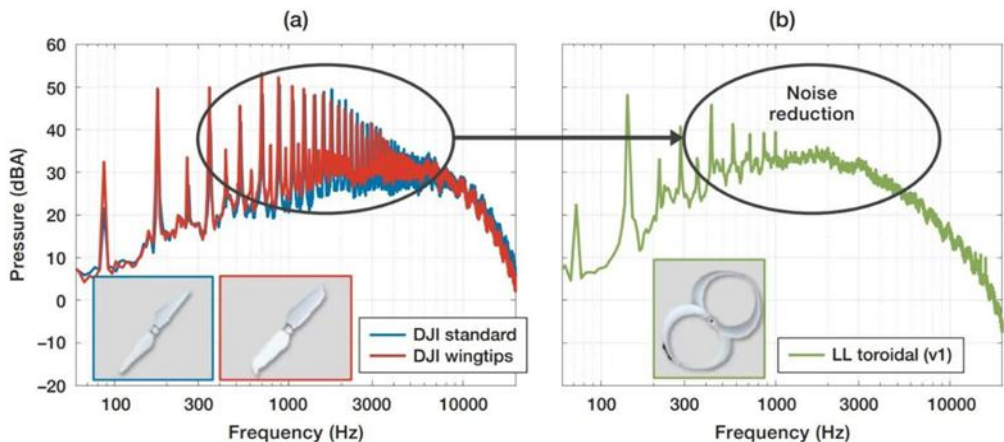
Baling-baling atau *Propeller* adalah bagian penting dari sistem propulsi. Efisiensi propeller merupakan faktor yang mempengaruhi kecepatan dan aspek ekonomi transportasi laut, pada umumnya untuk menemukan karakteristik geometris dan parameter *physical* propeller para engineer menggunakan metode *Wageningen B-Series* [1]. Karakteristik geometris dan parameter *physical* merupakan aspek yang mempengaruhi efisiensi *propeller*. Misalnya, *pitch ratio* (P/D), *rake angle* (RA) dan *skew angle* (SA) merupakan karakteristik geometris *propeller* sebagai acuan menentukan efisiensi performa propeller. Selain itu, perubahan *flow regimes* di sekitar *propeller* dalam *advance velocity ratios* (J) dan *cavitation numbers* (σ) berpengaruh pada performa *propeller* [2]. Kavitasi merupakan fenomena *destructive* dan tidak diinginkan pada *propeller*. Oleh karena itu, prediksi kinerja dan kavitasi *propeller* diperlukan dalam karakteristik geometris dan parameter *physical* untuk mencapai *propeller* yang efisien [3]. Propeller adalah sumber utama getaran kapal dan proses pelepasan gelombang suara ke dalam air (*underWater acoustic radiation*) Getaran dan kebisingan (*noise*) selalu ada karena propeller selalu beroperasi pada aliran yang tidak seragam (*non-uniform flow*) dan aliran turbulen (*turbulent flow*).

Penelitian tentang kavitasi menggunakan propeller *Wageningen B-Series* telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu, baik secara eksperimental maupun numerik. Penelitian menggunakan Model Gelembung Diskret (DBM) dengan pendekatan Lagrangian untuk melacak struktur kavitasi. Dular dan rekan [4] mengembangkan model untuk memprediksi erosi kavitasi dengan baik. Mereka menghitung hubungan antara variasi fraksi uap dan energi yang menyebabkan erosi. Li menganalisis aliran kavitasi pada hydrofoil NACA menggunakan NACA0015 dan NACA0018-45 dalam menentukan daerah yang rentan terhadap erosi dengan menghitung turunan waktu dari nilai tekanan/*time derivative of Pressure* (∂_p/∂_t) pada permukaan (*surface*) hydrofoil. Mereka juga mengusulkan nilai ambang untuk memprediksi erosi. Nohmi dan Hasuike [5] mengembangkan kerangka matematis dan metode untuk memprediksi agresivitas erosi kavitasi pada propeler kapal. Metode yang diperkenalkan oleh Motohiko Nohmi juga diterapkan oleh Ponkratov dan Caldas [6], metode ini diterapkan untuk memprediksi erosi pada propeler di dekat tepi depan (*near the leading edge*). Penelitian kavitasi pada propeler kapal menyoroti pentingnya prediksi erosi dan efek kavitasi menggunakan pendekatan numerik, seperti *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Metode ini memungkinkan simulasi yang akurat terhadap aliran fluida kompleks di sekitar propeler. Pemodelan ini telah diuji dan divalidasi menggunakan propeler referensi dan uji coba model untuk memahami dinamika kavitasi dan menghindari efek negatifnya, termasuk kavitasi lembaran (*sheet cavitation*) dan TVC (*Tip Vortex Cavitation*) [7]. Penggunaan model RANS dalam CFD telah menjadi pendekatan yang populer, meskipun tantangan masih ada dalam mengatasi skala dalam pengujian model dan efek kavitasi pada propeler kapal.

Meskipun telah banyak dilakukan penelitian tentang propeler *Wageningen B-Series*, tantangan-tantangan yang belum terselesaikan masih ada, dan perkembangannya telah mencapai batas dalam meningkatkan efisiensi propulsi serta mengurangi kebisingan hidrodinamis. Di sisi lain, *Toroidal Propeller* telah menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi propulsi dan mengurangi getaran (*vibration*) dan

kebisingan (*noise*). Dalam beberapa tahun terakhir, *Toroidal Propeller* telah mendapat perhatian luas, dan penelitian telah dilakukan di luar negeri dan diterapkan dalam bidang kapal. Pada tahun 2013, perusahaan Amerika Sharrow Marine mengajukan paten untuk *Toroidal Propeller* dan mengembangkan sistem *marine propulsion*, dengan klaim bahwa propeler tersebut dapat meningkatkan efisiensi propulsi kapal dan mengurangi kebisingan. Pada tahun 2017, Massachusetts Institute of Technology (MIT) memperbarui dan mengajukan kembali paten untuk *Toroidal Propeller*, yang disetujui pada tahun 2020.

Tahun 2017, Massachusetts Institute of Technology's Lincoln Laboratory bekerja sama dengan Sharrow Marine, mengeluarkan penelitian menarik di mana mereka menguji jenis propeler yang disebut *Toroidal Propeller*. Diklaim bahwa propeler khusus ini menghasilkan lebih sedikit suara frekuensi tinggi dari pada propeler Wageningen B-Series tanpa kehilangan efisiensi. Kebisingan (*Noise*) pada propeler disebabkan oleh getaran (*vibrations*) di ujung bilah akibat pembentukan vorteks. Pada propeler toroidal, pengurangan kebisingan dengan mengurangi vorteks ujung (*tip vortices*) yang dihasilkan oleh bilah propeler. *Tip vortex* adalah massa udara yang berputar yang terbentuk di ujung bilah propeler saat berputar, dan berkontribusi pada kebisingan dan getaran. Bentuk toroidal dari propeler dapat membantu meminimalkan pembentukan *tip vortex* dengan membatasi aliran udara dan mencegahnya tumpah di tepi (*spilling over the edges*). Kebisingan dan getaran juga bergantung pada faktor seperti pitch dan jumlah bilah (*Number of blades*). Mendefinisikan pitch pada *Toroidal Propeller* cukup kompleks karena bentuk melengkung dari bilah dan hubungan non-linear antara sudut bilah (*blade angle*) dan kinerja.



Gambar 1.1 Sound Reduction in Propeller: Propeler toroidal mengurangi noise pada high frequency spectrum tanpa mengorbankan (losing) efisiensi sebenarnya.

Sumber: Massachusetts Institute of Technology's Lincoln Laboratory, 2018

Berbeda dengan bentuk bilah propeler Wageningen B-Series, setiap bilah *Toroidal Propeller* melengkung dari akar depan (*front root*) ke akar belakang (*rear root*), membentuk struktur tertutup mirip cincin (*closed ring-like structure*). Struktur tertutup (*closed structure*) ini secara signifikan mengurangi vorteks, efektif mengurangi *rotational resistance* yang dihasilkan oleh bagian transisi bilah (*blade transition section*), sehingga meningkatkan efisiensi propulsi dan mengurangi kebisingan (*reducing noise*). Dibandingkan dengan propeler Wageningen B-Series, *Toroidal*

Propeller mendistribusikan vorteks yang dihasilkan ke seluruh bilah, bukan hanya bagian transisi (*transition section*), sehingga secara signifikan mengurangi kavitasi ujung (*tip cavitation*) dan mengurangi *hydroDynamic noise*, baik dengan maupun tanpa gelembung kavitasi (*cavitation bubbles*). Selain itu, bentuk berbentuk cincin (*ring-shaped*) dari *Toroidal Propeller* meningkatkan kekakuan dan stabilitas struktur, meningkatkan kekuatan keseluruhan. Dengan demikian *Toroidal Propeller* adalah jenis desain propeler yang lebih tenang dan lebih efisien dibandingkan dengan propeler Wageningen B-Series.

1.2 Rumusan Masalah

- 1) Mendapatkan Karakteristik aliran fluida di sekitar *Toroidal Propeller* dan *Wageningen B-Series Propeller* mengalami perbedaan signifikan, terutama dalam hal distribusi tekanan, pembentukan vorteks, turbulensi, dan kavitasi.
- 2) Mendapatkan Performa propulsi antara *Toroidal Propeller* dan *Wageningen B-Series Propeller* berbeda, mencakup daya yang dihasilkan, gaya dorong, dan efisiensi propulsi pada berbagai kondisi operasional.
- 3) Mendapatkan Hasil perbandingan *Toroidal Propeller* dan *Wageningen B-Series Propeller* dapat diterapkan dalam konteks industri maritim, dengan salah satu propeller menunjukkan keunggulan efisiensi dalam performa propulsi.(rekomendasi)

1.3 Tujuan Penelitian

- 1) Menganalisis karakteristik hidrodinamis antara *Toroidal Propeller* dan *Wageningen B-Series Propeller* menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dalam berbagai kondisi operasional yang relevan dengan industri maritim.
- 2) Menganalisis performa propulsi dari *Toroidal Propeller* dan *Wageningen B-Series Propeller*, termasuk daya yang dihasilkan, gaya dorong (*Thrust*), *Torque*, *Advance Coefficient (J)*, *Thrust Coefficient (KT)*, *Torque Coefficient (KQ)*, dan *Propeller Efficiency (η)*, dalam kondisi operasional yang berbeda.
- 3) Menganalisis dan membandingkan performa *Toroidal Propeller* dan *Wageningen B-Series Propeller* dalam konteks industri maritim. Analisis dilakukan berdasarkan parameter utama yaitu *Thrust*, *Torque*, dan efisiensi propulsi guna mengidentifikasi keunggulan masing-masing desain propeller, sehingga memberikan rekomendasi propeller yang lebih unggul dalam hal efisiensi dan kinerja propulsi, hasilnya dapat diterapkan sebagai solusi optimal untuk meningkatkan performa kapal dalam industri maritim.

1.4 Relevansi atau manfaat

Manfaat dari penulis riset dan pengembangan Simulasi Kavitasi *Unsteady* Guna Studi Perbandingan Antara *Toroidal Propeller* Dan *Wageningen B-Series Propeller* Menggunakan Simulasi CFD adalah sebagai berikut:

1. Bagi Akademisi

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan bagi riset teknologi maritim di Indonesia. Dengan menghasilkan simulasi kavitasi dari propeler toroidal dan propeller Wageningen B-Series, penelitian ini akan membuka jalan untuk pemahaman yang lebih dalam tentang karakteristik kavitasi pada kedua jenis

propeler. Informasi ini akan menjadi dasar penting untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan propeler yang lebih efisien dan inovatif.

2. Bagi pemerintah

Pemerintah dapat menggunakan hasil penelitian ini sebagai dasar untuk merumuskan kebijakan dan strategi di bidang industri maritim. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang perbandingan antara propeler toroidal dan propeller Wageningen B-Series dalam hal kinerja kavitasi, pemerintah dapat mengarahkan investasi dan pengembangan teknologi untuk mendukung pengembangan kapal yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

3. Bagi masyarakat

Penelitian ini dapat menghasilkan inovasi dalam teknologi propulsi kapal yang berpotensi meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi dampak lingkungan dari transportasi maritim. Dengan memanfaatkan desain propeller yang lebih efisien, diharapkan efisiensi energi kapal meningkat, sehingga konsumsi bahan bakar dapat ditekan, yang pada akhirnya akan menurunkan biaya operasional secara keseluruhan. Selain itu, desain propeller yang lebih hemat energi juga dapat mengurangi jejak karbon dari sektor pelayaran, menjadikannya lebih ramah lingkungan. Pemahaman yang lebih mendalam tentang efek kavitasi terhadap kinerja propeller juga berpotensi meningkatkan keamanan pelayaran. Dengan pengurangan kavitasi, risiko kerusakan pada propeller dan peralatan kapal dapat diminimalisir, yang pada akhirnya mengurangi risiko kecelakaan maritim.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian untuk simulasi perbandingan performa antara Wageningen B-Series dan *Toroidal Propeller* dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

1) Batasan Kecepatan Operasional

Pengujian performa propeller dibatasi pada kecepatan rotasi tertentu, yaitu 25, 30, 40, dan 50 RPS (setara dengan 1500, 1800, 2400, dan 3000 RPM). Simulasi ini hanya mencakup kondisi kavitasi pada kecepatan tinggi dalam rentang tersebut.

2) Batasan Geometri Propeller

Batasan penelitian pada bagian geometri didasarkan pada parameter propeller berikut: Wageningen B-Series dan *Toroidal Propeller* memiliki diameter 227,27 mm, jumlah bilah 4 ($Z = 4$), pitch ratio 1,1, *hub* diameter 45,53 mm, dan panjang *hub* 68,30 mm. Perbedaan utama terletak pada *Expanded Area Ratio* (EAR), yaitu 0,689 untuk Wageningen B-Series dan 0,639 untuk *Toroidal Propeller*, serta *blade area* sebesar 27.924,18 mm² dan 25.942,52 mm², masing-masing. *Skew angle* (4,8°) dan *rake angle* (4,6°) hanya terdapat pada Wageningen B-Series, sedangkan *Toroidal Propeller* tidak memiliki parameter ini.

3) Batasan Parameter yang Dianalisis

Penelitian ini hanya mengevaluasi parameter *Thrust*, *Torque*, *Advance Coefficient* (J), *Thrust Coefficient* (K_T), *Torque Coefficient* (K_Q), dan efisiensi propeller pada berbagai kondisi rotasi

1.6 Hipotesis

Desain *Toroidal Propeller* yang dipatenkan oleh MIT (US 10,836,466 B2) dan Sharrow Marine (US 9,926,058 B2) memiliki klaim utama terkait inovasi geometri dan aliran fluida untuk meningkatkan performa propulsi. Paten MIT mengklaim sebuah propeller dengan elemen *blade* yang membentuk struktur melingkar tertutup, dirancang untuk meningkatkan kekakuan, mengurangi tanda akustik, dan meningkatkan efisiensi propulsi melalui distribusi tekanan yang lebih merata. Sementara itu, paten Sharrow Marine menyoroti desain propeller yang mampu menciptakan aliran fluida non-aksial yang kemudian diarahkan kembali ke arah aksial, sehingga mengurangi energi terbuang akibat vorteks tip *blade* dan meningkatkan efisiensi hidrodinamis secara keseluruhan. Kedua desain ini berfokus pada peningkatan efisiensi energi, pengurangan kebisingan, dan optimalisasi distribusi aliran fluida.

1.7 Luaran Penelitian

Penelitian ini menghasilkan beberapa luaran penting, antara lain:

1. Prototype: Penelitian ini menghasilkan prototype *Toroidal Propeller* skala 1:1 dan prototype propeller Wageningen B-Series skala 1:1. Kedua prototype ini dirancang untuk digunakan dalam pengujian lebih lanjut yang bertujuan mengevaluasi performa propulsi pada kondisi nyata. Sebagai bukti, dokumentasi hasil akhir prototype disertakan pada **Lampiran 4 dan Lampiran 5**,
2. Hak Kekayaan Intelektual (HaKI): Penelitian ini menghasilkan Hak Kekayaan Intelektual (HaKI) berupa Hak Cipta atas karya rekaman video yang berjudul "*Tutorial Simulasi CFD Guna Menganalisa Thrust dan Torque pada Toroidal Propeller*" yang didaftarkan melalui Universitas Diponegoro. Sebagai bukti, dokumen pendaftaran dan sertifikat Hak Cipta disertakan pada **Lampiran 7**
3. Hak Kekayaan Intelektual (HaKI): Penelitian ini menghasilkan Hak Kekayaan Intelektual (HaKI) berupa Hak Cipta atas modul yang berjudul "*Modul Tutorial Simulasi CFD Guna Menganalisa Thrust ,Torque dan Efisiensi pada Toroidal Propeller*" yang didaftarkan melalui Universitas Diponegoro. Sebagai bukti, dokumen pendaftaran dan Modul disertakan pada **Lampiran 9**
4. Paper/Jurnal: Sebuah artikel ilmiah berjudul *Studi Perbandingan Antara Toroidal Propeller dan Wageningen B-Series Propeller Menggunakan Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)* yang diajukan kepada Jurnal Wave yang diterbitkan UPT. Balai Pengkajian dan Pengembangan Hidrodinamika (BPPH) – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Sebagai bukti jurnal dapat dilihat pada **Lampiran 10**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”