



Analisis Efisiensi Propeler Dengan Desain Bilah Melingkar

Bima Anugerah Putra^a, Fajri Ashfi Rayhan^{a,*}

^aTeknik Peerkapalan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Indonesia

Abstract

The toroidal propeller, characterized by its circular blade shape, has gained attention for its potential benefits, including increased efficiency and reduced noise levels. Despite its advantages, limited scientific literature exists on toroidal propeller research, predominantly relying on field experiments. This study seeks to assess the toroidal propeller's performance by comparing it to a conventionally shaped propeller with similar geometric parameters. Parameters such as propeller diameter, number of blades, hub diameter, and blade front view are adjusted in the conventional propeller model to mimic the toroidal design. The pitch parameter of the conventional propeller is varied to explore its ability to match the efficiency of the toroidal propeller. Utilizing Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations through Simscale software, propeller models are evaluated across a range of RPM (1000 - 6000). The simulations yield thrust and torque values, subsequently used to calculate efficiency. Results indicate that thrust and torque increase with higher pitch and RPM. Interestingly, a variation of the conventional propeller with a pitch of 171.45 mm demonstrates superior efficiency compared to the toroidal propeller, albeit with lower thrust. Visualization of fluid flow on each model reveals optimal flow in the toroidal propeller, devoid of vorticity. This study enhances understanding of toroidal propellers, offering insights that contribute to the ongoing development of this technology.

Keywords: Toroidal propeller, propulsion efficiency, propeller performance, CFD.

Abstrak

Toroidal propeller merupakan jenis baling-baling dengan bentuk melingkar pada bilahnya. Propeler ini tengah menjadi sorotan karena dianggap dapat memberikan efisiensi yang lebih tinggi, tingkat kebisingan yang lebih rendah, dan beberapa keunggulan lainnya jika dibandingkan dengan model propeler saat ini. Meskipun begitu, literatur ilmiah mengenai penelitian toroidal propeller masih terbatas, dan sebagian besar hanya bergantung pada eksperimen lapangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan kinerja toroidal propeller dengan propeler konvensional yang memiliki bentuk serupa, guna menentukan sejauh mana peningkatan yang dapat dihasilkan oleh toroidal propeller. Parameter geometri seperti diameter propeler, jumlah bilah, diameter hub, dan pandangan depan bilah digunakan untuk memodelkan propeler konvensional agar menyerupai toroidal. Parameter geometri pitch pada propeler konvensional divariasikan untuk mengetahui apakah propeler konvensional mampu mencapai efisiensi serupa dengan toroidal propeller. Setiap model propeler dalam penelitian ini disimulasikan pada rentang putaran 1000 – 6000 RPM menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak Simscale. Simulasi CFD ini menghasilkan nilai thrust dan torque yang selanjutnya dihitung untuk mendapatkan nilai efisiensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai thrust dan torque pada propeler meningkat seiring dengan peningkatan pitch dan RPM. Dalam hal efisiensi, variasi propeler konvensional dengan pitch 171,45 mm mampu menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan toroidal propeller, namun dengan gaya dorong yang lebih rendah. Penelitian ini juga menyajikan visualisasi aliran fluida pada setiap model propeler. Hasilnya menunjukkan bahwa aliran fluida terbaik dimiliki oleh toroidal propeller tanpa adanya vortisitas. Oleh karena itu, penelitian ini dapat memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai toroidal propeller dan berkontribusi pada pengembangan teknologi ini ke depannya.

Kata kunci: Toroidal propeller, efisiensi propulsi, performa propeller, CFD.

* Email Penulis Koresponden:

1. Pendahuluan

Performa atau efisiensi adalah faktor krusial dalam kemajuan teknologi. Dalam konteks kapal, nilai efisiensi dipengaruhi oleh desain lambung, permesinan, dan sistem propulsi (Vidiarto, 2009). Propeler kapal, sebagai komponen penting dalam sistem propulsi, memegang peran kunci dalam mengoptimalkan efisiensi penggunaan energi dan mengurangi konsumsi bahan bakar (Pieniasek, 2021). Desain propeler yang optimal juga dapat meminimalkan fenomena kavitasi, kebisingan, dan getaran, meningkatkan kenyamanan di dalam kapal (Ebrahimi, 2019).

Toroidal propeller, dengan bentuk melingkar pada bilahnya, sedang menjadi sorotan karena dianggap dapat menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih rendah dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan propeler konvensional (Blain, 2016). Desain toroidal mengurangi kebisingan dengan mengurangi pembentukan vortisitas pada ujung bilahnya (SUASNEWS, 2023). Keunggulan ini berpotensi mengurangi polusi suara di industri penerbangan dan transportasi laut. Pada tahun 2017, tim MIT Lincoln Laboratory mendapatkan paten untuk toroidal propeller pada drone komersial, menunjukkan suara akustik lebih rendah dibandingkan propeler konvensional pada rentang sensitif pendengaran manusia (Sebastian, 2017). Perusahaan Sharrow Marine juga mematenkan desain toroidal propeller dengan efisiensi maksimal mencapai 148% pada uji coba (Sharrow, 2023).

Namun, penelitian menunjukkan hasil yang bervariasi. Drone dengan toroidal propeller mengalami penurunan waktu terbang signifikan, mencapai kurang dari 50% dari waktu terbang aslinya (Oscar, 2023). Meskipun telah ada paten dan klaim terkait desain, penelitian tentang kinerja toroidal propeller di kapal masih terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa toroidal propeller dan membandingkannya dengan propeler konvensional serupa untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangannya dalam hal performa.

2. Tinjauan Pustaka

Nilai *advance coefficient* merupakan hasil rasio antara kecepatan maju propeler dengan kecepatan rotasi dan bentuk geometri propeler tersebut. *Advance coefficient* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$J = \frac{V_a}{n \cdot D} \quad (1)$$

$$V_a = n \cdot pitch \quad (2)$$

Dimana J adalah Koefisien advance [-], V_a adalah kecepatan maju [m/s], n adalah kecepatan putaran baling – baling [rev/m], dan D adalah diameter dari baling – baling [m].

Gaya dorong tersebut merupakan *lift force* dihasilkan oleh perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang bilah propeler (Aditya, 2013). Nilai dari *thrust* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (3)$$

$$T = K_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (4)$$

T adalah thrust propeller [N], K_T adalah koefisien gaya dorong baling – baling [-], ρ adalah massa jenis fluida [kg/m^3], n adalah putaran propeler [rev/s], D adalah diameter propeller [m].

Torsi dalam sistem propulsi kapal dapat diartikan sebagai gaya yang setara dengan rotasi pada gaya linier yang dihasilkan oleh baling-baling kapal saat berputar. Nilai torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \quad (5)$$

$$Q = K_Q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5 \quad (6)$$

Dimana Q adalah torsi propeller [Nm], K_Q adalah koefisien torsi baling – baling [-], ρ adalah massa jenis fluida [kg/m^3], n adalah putaran propeller [rev/s], D adalah diameter propeller [m].

Berikut merupakan model perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai efisiensi dari propeller sebuah

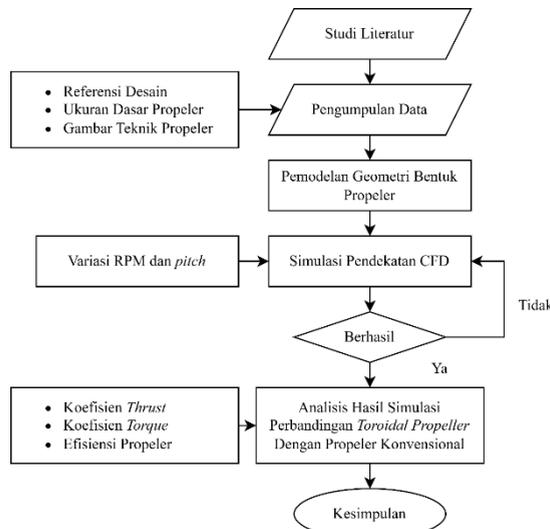
kapal:

$$\eta_0 = \frac{J \cdot K_T}{2\pi \cdot K_Q} \tag{7}$$

η_0 adalah nilai efisiensi baling- baling [-], J adalah *advance coefficient* [-], K_T adalah koefisien dorongan [-], K_Q adalah koefisien torsi.

3. Metodologi Penelitian

Secara umum diagram alir penelitian menjelaskan mengenai langkah – langkah pengerjaan skripsi yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses penelitian secara sistematis, berikut penjelasan mengenai diagram alir penelitian:



Gambar 1 Diagram Alir

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan metodologi dalam menyelesaikan skripsi ini.

3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi terkait dengan permasalahan yang akan dianalisa agar lebih mudah dalam memahami serta mengetahui informasi pendukung lainnya, Data yang digunakan bersumber dari jurnal, paper, website, maupun buku yang berkaitan dengan penelitian.

3.3 Pengumpulan Data

Dalam pengerjaan skripsi ataupun penelitian diperlukan data pendukung yang tepat karena akan sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian skripsi ini. Maka diperlukan pengumpulan data pelengkap untuk membantu analisis skripsi ini pada bab 2 dasar teori.

Dalam penelitian ini pengumpulan data yang dilakukan yaitu pemodelan dari propeler yang akan dilakukan dalam simulasi CFD menggunakan software Simscale. Hasil pemodelan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1, Gambar 2, Tabel 2, dan Gambar 3.

Berikut merupakan parameter geometri yang dapat diketahui dari *toroidal propeller*:

Tabel 1 Parameter geometri toroidal propeller

Model propeler	<i>Toroidal</i>
Arah putaran	Kanan
Jumlah bilah	3 Buah
Diameter	228,6 mm
<i>Pitch</i>	228,6 mm
<i>Skew</i>	N/A
<i>Rake</i>	N/A
<i>Hub-diameter ratio</i>	0,341

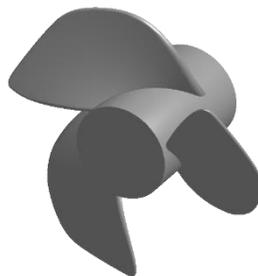


Gambar 2 Bentuk tiga dimensi toroidal propeller

Selanjutnya akan ditampilkan hasil variasi propeler konvensional dengan bentuk menyerupai toroidal propeller:

Tabel 2 Data variasi propeler konvensional

Variasi	Diameter [mm]	<i>Pitch</i> [mm]	<i>Skew</i>	<i>Rake</i>	Hub-Diameter Ratio
Prop 1	228,6	114,3	56°	0°	0,344
Prop 2	228,6	171,45	56°	0°	0,344
Prop 3	228,6	285,75	56°	0°	0,344
Prop 4	228,6	320,04	56°	0°	0,344



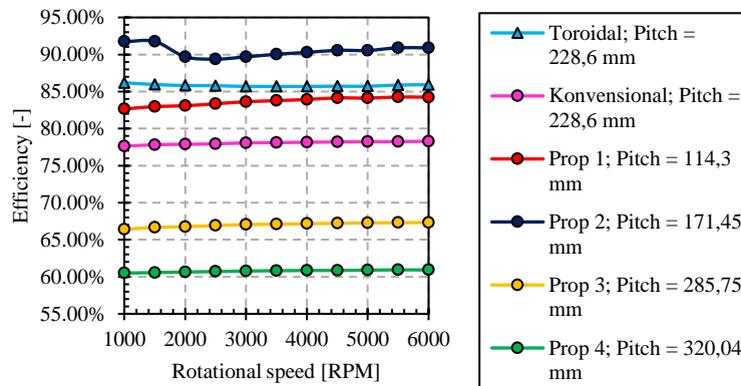
Gambar 3 Model tiga dimensi propeler konvensional

4. Hasil Dan Pembahasan

Hasil pada Gambar 4 menunjukkan bahwa Prop 2 memiliki nilai efisiensi paling tinggi dibandingkan model propeler lainnya. Nilai rata-rata efisiensi yang dihasilkan Prop 2 adalah 90,50%. Pada urutan kedua terbesar dihasilkan oleh Prop 1 dengan selisih nilai rata-rata efisiensi 7,56% lebih rendah dari Prop 2. Selanjutnya terdapat propeler

konvensional dengan selisih nilai rata-rata efisiensi 13,75% lebih rendah dari Prop 2. Prop 3 menghasilkan nilai rata-rata efisiensi 25,95% lebih rendah dari Prop 2. Kemudian pada urutan terakhir terdapat propeler dengan *pitch* tertinggi, yaitu Prop 4 yang menghasilkan nilai rata-rata efisiensi 32,85% lebih rendah dari Prop 2.

Selain itu, dapat diketahui bahwa *toroidal propeller* mampu menghasilkan nilai efisiensi dengan rata-rata 85,82%. Nilai rata-rata tersebut 5,16% lebih rendah dibandingkan nilai rata-rata efisiensi yang dihasilkan oleh Prop 2 dengan *pitch* 171,45 mm. Pada hasil ini klaim terkait *toroidal propeller* yang mampu menghasilkan efisiensi lebih tinggi dibandingkan desain propeler konvensional tidak tepat. Namun pada nilai *pitch* yang sama, yaitu *pitch* 228,6 mm, *toroidal propeller* mampu menghasilkan nilai rata-rata efisiensi 9,06% lebih tinggi dibandingkan propeler konvensional.



Gambar 4 Grafik Hasil perbandingan nilai efisiensi

5. Kesimpulan

Perbandingan nilai efisiensi yang dihasilkan oleh setiap model propeler menunjukkan bahwa Prop 2 dengan *pitch* 171,45 mm menghasilkan nilai rata-rata efisiensi sebesar 90,50% dan pada urutan kedua terdapat toroidal propeller sebesar 85,82%. Pada propeler konvensional yang memiliki *pitch* yang sama dengan toroidal, yaitu 228,6 mm, menghasilkan nilai rata-rata efisiensi sebesar 78,05%.

Referensi

- Blain, L. (2023). *Toroidal propellers: A noise-killing game changer in air and water*. NEW ATLAS. Retrieved August 28 from <https://newatlas.com/aircraft/toroidal-quiet-propellers/>
- Ebrahimi, A., Razaghian, A. H., Seif, M. S., Zahedi, F., & Nouri-Borujerdi, A. (2019). A comprehensive study on noise reduction methods of marine propellers and design procedures. *Applied Acoustics*, 150, 55-69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.12.004>
- Oscar. (2023). *Toroidal Propellers: A Quieter Future for FPV Drones?* <https://oscarliang.com/toroidal-propellers/>
- Pieniazek, J., & Ciecinski, P. (2021, 23-25 June 2021). Measurement system for small propeller propulsion. 2021 IEEE 8th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace),
- Press. (2023). *TSAW Drones technical paper on toroidal propellers*. sUAS News. Retrieved August 36 from <https://www.suasnews.com/2023/05/tsaw-drones-technical-paper-on-toroidal-propellers/>
- Sharrow, G. C. (2023). *PROPELLER* (United States Patent No. US20230249793A1). <https://www.patentguru.com/US20230249793A1>
- Strem, T. S. C. (2017). *TOROIDAL PROPELLER* (United States Patent No. US010836466B2). <https://patents.google.com/patent/US10836466B2/en>
- Vidiarto, B., Zakki, A. F., & Hadi, E. S. (2019). Analisa Pengaruh Penambahan Tip Winglet dan Variasi Sudut Rake Terhadap Performa Propeller Tipe B4-70. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(1), 10. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/25119>