

PENGARUH DUCT HEKSAGONAL TERHADAP PERFORMA HIDRODINAMIKA PROPELER RUMPON PADA VARIASI KECEPATAN ARUS

EFFECT OF A HEXAGONAL DUCT ON THE HYDRODYNAMIC PERFORMANCE OF A RUMPON PROPELLER UNDER VARYING CURRENT VELOCITIES

Rizqiya Windy Saputra¹, Dedi Kurniawan^{2*}, Andi Fiardi³, Baihaqi³, M. Ikhsan⁴, Putri Rizkiah¹

¹STAI Tgk Chik Pante Kulu, Darussalam, Banda Aceh, Indonesia

²Program Studi Sistem Kelistrikan Kapal, Politeknik Pelayaran Malahayati, Aceh Besar, Indonesia

³Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Malahayati, Aceh Besar, Indonesia

⁴Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh, Indonesia

*email: dedikurniawan@polteklaceh.ac.id

ABSTRAK

Rumpon modern membutuhkan kemampuan mempertahankan fungsi dan posisi pada lingkungan laut yang berubah, sehingga penggerak korektif berdaya rendah menjadi salah satu opsi untuk mengurangi simpangan tanpa menggantikan fungsi utama sistem tambat. Penelitian ini menganalisis pengaruh duct heksagonal terhadap performa hidrodinamika propeler rumpon melalui model numerik parametrik pada tahap penyaringan desain. Empat konfigurasi dibandingkan, yaitu propeler terbuka tiga sudu (C0), propeler enam sudu dengan duct sirkular (C1), sudu heksagonal dengan duct sirkular (C2), serta sudu dan duct heksagonal (C3). Diameter propeler ditetapkan 0,32 m, putaran 600 rpm, massa jenis air laut 1.025 kg/m³, dan kecepatan arus skenario 0,40–1,20 m/s. Koefisien thrust dan torque dihitung sebagai fungsi advance coefficient dan kemudian digunakan untuk memperoleh thrust, daya poros, dan efisiensi open-water. Pada titik desain 0,85 m/s ($J=0,266$), C3 menghasilkan thrust 83,88 N, daya poros 145,34 W, dan efisiensi 0,491, sedangkan C0 menghasilkan 66,03 N, 125,50 W, dan 0,447. Sepanjang rentang kecepatan yang diuji, peningkatan thrust C3 terhadap C0 berada pada 23,75–31,25%, peningkatan efisiensi 8,08–11,70%, dengan penalti daya 14,50–17,50%. Hasil menunjukkan bahwa duct heksagonal paling relevan pada kondisi advance coefficient rendah sampai menengah. Model ini dimaksudkan sebagai bukti numerik pra-CFD yang transparan; validasi CFD geometri penuh dan uji open-water tetap diperlukan sebelum klaim performa aktual.

Kata kunci: Duct Heksagonal, Propeler Rumpon, Thrust, Efisiensi Open-Water, Pemodelan Numerik

ABSTRACT

Modern fish aggregating devices (FADs), locally known as rumpon, require functional and positional robustness under changing marine conditions; therefore, a low-power corrective thruster may reduce displacement without replacing the primary mooring function. This study evaluates the effect of a hexagonal duct on rumpon-propeller hydrodynamic performance using a parametric numerical screening model. Four configurations are compared: a three-bladed open propeller (C0), a six-bladed propeller with a circular duct (C1), hexagonal-planform blades with a circular duct (C2), and hexagonal blades combined with a hexagonal duct (C3). The propeller diameter is 0.32 m, rotational speed is 600 rpm, seawater density is 1,025 kg/m³, and the prescribed current-velocity scenarios range from 0.40 to 1.20 m/s. Thrust and torque coefficients are represented as functions of advance coefficient and subsequently used to calculate thrust, shaft power, and open-water efficiency. At the 0.85 m/s design point ($J=0.266$), C3 produces 83.88 N thrust, 145.34 W shaft power, and 0.491 efficiency, whereas C0 produces 66.03 N, 125.50 W, and 0.447. Across the investigated velocity range, C3 increases thrust by 23.75–31.25% and efficiency by 8.08–11.70%, while requiring 14.50–17.50% more shaft power. The results indicate that the hexagonal duct is most beneficial at low-to-moderate advance coefficients. This work is intentionally positioned as transparent pre-CFD

numerical evidence; geometry-resolved CFD and open-water experiments remain necessary before actual performance claims can be established.

Keywords: Hexagonal Duct, Rumpon Propeller, Thrust, Open-Water Efficiency, Numerical Modelling

1. Pendahuluan

Rumpon merupakan alat bantu penangkapan ikan yang berfungsi mengonsentrasikan ikan pada lokasi tertentu. Dalam pengembangan menuju rumpon cerdas, struktur pasif tersebut mulai dipadukan dengan sensor, telemetri, lampu, sumber energi mandiri, dan sistem kendali. Integrasi ini meningkatkan nilai fungsional, tetapi juga memperbesar tuntutan keandalan karena kegagalan posisi, suplai energi, atau komponen mekanik dapat menghilangkan manfaat perangkat secara keseluruhan. Amien et al. (2023) menunjukkan bahwa komponen elektronik dan baterai pada fish aggregating device memerlukan proteksi dan pemantauan khusus, sedangkan pemanfaatan energi laut di Ujong Batee telah diidentifikasi memiliki prospek untuk mendukung pengembangan teknologi maritim berbasis energi terbarukan (Rima et al., 2026).

Pada rumpon konvensional, beban arus, gelombang, dan angin ditahan oleh sistem tambat. Penggunaan propeler korektif tidak dimaksudkan untuk menggantikan jangkar, tetapi memberikan gaya bantu pada saat simpangan posisi meningkat atau ketika sistem perlu melakukan koreksi orientasi. Karakter operasi tersebut berbeda dari propulsi kapal karena kecepatan maju rendah, duty cycle pendek, serta prioritas utama pada thrust statik atau quasi-statik dengan konsumsi daya minimal. Dalam kondisi seperti ini, ducted propeller mempunyai alasan teknis yang kuat untuk dikaji. Villa et al. (2020) menunjukkan bahwa duct dapat memberikan kontribusi thrust tambahan dan mengubah interaksi aliran di sekitar propeler, sedangkan Liu et al. (2021) menegaskan bahwa sudut dan geometri duct memengaruhi thrust, torque, dan uniformitas wake.

Kajian CFD dan eksperimen terdahulu umumnya menggunakan duct sirkular atau nozzle standar, misalnya Kaplan-19A, dan membahas pengaruh tip clearance, panjang nozzle, sudut serang, atau interaksi dengan badan kapal. Bahatmaka et al. (2021) menemukan bahwa perubahan karakteristik nozzle memengaruhi thrust propeler, sementara Zhang dan Zhou (2020) menunjukkan bahwa ducted propeller dapat menghasilkan thrust lebih tinggi tetapi juga menuntut torque lebih besar. Di sisi lain, performa propeler sangat sensitif terhadap advance ratio, kondisi gelombang, immersion depth, serta

kekasaran permukaan (Eom et al., 2021; Song et al., 2020). Dengan demikian, keuntungan duct tidak dapat diperlakukan sebagai nilai konstan untuk seluruh kondisi operasi.

Kesenjangan penelitian yang menjadi fokus artikel ini adalah belum adanya kajian parametrik yang secara eksplisit memisahkan kontribusi penambahan jumlah sudu, perubahan planform heksagonal, dan bentuk duct heksagonal untuk aplikasi propeler korektif rumpon. Penelitian sebelumnya yang membandingkan propeler ducted dan non-ducted lebih banyak diarahkan pada kapal atau kendaraan bawah air, sedangkan kebutuhan rumpon berada pada domain thrust rendah, diameter kecil, dan pengoperasian intermiten. Artikel ini tidak mengklaim simulasi RANS/CFD geometri penuh. Sebaliknya, penelitian membangun model screening yang transparan agar setiap asumsi dapat diperiksa sebelum desain masuk ke tahap komputasi berbiaya lebih tinggi.

Tujuan penelitian adalah: (1) membandingkan thrust, torque, daya poros, dan efisiensi open-water empat konfigurasi propeler; (2) mengevaluasi sensitivitas manfaat duct heksagonal terhadap perubahan kecepatan arus; dan (3) menentukan rentang operasi yang paling rasional untuk dilanjutkan ke simulasi CFD dan pengujian open-water. Kontribusi utama penelitian adalah pemisahan efek geometri secara bertahap melalui C0–C3, sehingga peningkatan performa tidak langsung diasosiasikan dengan satu bentuk baru tanpa pembanding yang memadai.

2. Metode Penelitian

2.1 Konfigurasi dan Parameter Desain

Penelitian menggunakan model numerik parametrik berbasis koefisien open-water. Model ini diposisikan sebagai tahap penyaringan desain sebelum CFD. Empat konfigurasi disusun untuk memisahkan perubahan geometri secara bertahap: C0 adalah propeler terbuka tiga sudu; C1 adalah propeler enam sudu dengan duct sirkular; C2 menggunakan enam sudu ber-planform heksagonal dengan duct sirkular; dan C3 menggunakan sudu heksagonal serta duct heksagonal. Diameter, putaran, dan massa jenis air dibuat sama sehingga perubahan keluaran

terutama berasal dari perubahan koefisien hidrodinamika.

Tabel 1. Parameter Utama Model Numerik

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
Diameter propeler, D	0,32	m	Tetap untuk C0–C3
Putaran, n	600	rpm	10 rps
Massa jenis, ρ	1.025	kg/m ³	Air laut
Kecepatan masuk, V_a	0,40–1,20	m/s	Skenario desain
Jumlah sudu	3 / 6	-	C0 / C1–C3
Tip clearance relatif	0,025 D	-	C1–C3

Rentang 0,40–1,20 m/s diperlakukan sebagai skenario rekayasa, bukan sebagai rekaman arus lapangan jangka panjang Ujong Batee. Pemisahan ini penting karena data arus aktual harus diperoleh melalui ADCP/current meter atau basis data oseanografi sebelum desain final. Literatur hidrodinamika propeler menekankan bahwa validasi input aliran dan definisi kondisi batas merupakan prasyarat penting untuk prediksi performa yang dapat dipertanggungjawabkan (Islam & Jahra, 2019; He et al., 2024).

2.2 Model Koefisien dan Indikator Performa

Advance coefficient dihitung dari hubungan antara kecepatan masuk, putaran, dan diameter propeler. Thrust coefficient (K_t), torque coefficient (K_ϕ), serta efisiensi open-water (η_o) digunakan sebagai parameter tak berdimensi agar perbandingan tetap konsisten terhadap perubahan kecepatan. Definisi parameter mengikuti praktik analisis propulsi laut (Carlton, 2019; Molland et al., 2017).

$$J = V_a / (nD)$$

$$K_t = T / (\rho n^2 D^4) \quad \text{dan} \quad K_\phi = Q / (\rho n^2 D^5)$$

$$\eta_o = J K_t / (2\pi K_\phi) \quad ; \quad P = 2\pi n Q$$

Untuk C0, kurva dasar dinyatakan dengan $K_{t,0} = 0,091 - 0,102J - 0,035J^2$ dan $K_{\phi,0} = 0,00825 - 0,0080J - 0,0045J^2$. Kurva ini merupakan model reduced-order yang dikalibrasi pada titik desain J sekitar 0,266 dari perhitungan pendahuluan dan digunakan hanya untuk screening. Efek geometri kemudian diberikan melalui faktor pengali terhadap kurva dasar. Faktor thrust untuk C1, C2, dan C3 berturut-turut adalah (1,20–0,15J), (1,28–0,18J), dan (1,35–0,30J), sedangkan faktor

torque adalah (1,10–0,02J), (1,14–0,04J), dan (1,19–0,12J). Bentuk faktor dibuat menurun terhadap J agar keuntungan duct tidak diasumsikan konstan pada kecepatan yang meningkat, konsisten dengan kecenderungan fisik yang dilaporkan pada studi ducted propeller (Villa et al., 2020; Liu et al., 2021).

Penggunaan model terparametrisasi mempunyai dua tujuan. Pertama, model memungkinkan perbandingan geometri secara cepat dan dapat direproduksi. Kedua, model menghindari klaim bahwa data merupakan hasil CFD ketika mesh, turbulence model, rotating reference frame, dan konvergensi belum dibangun. Hasil akhir karena itu dinyatakan sebagai prediksi relatif dan kandidat desain, bukan bukti performa aktual.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perbandingan pada Titik Desain

Pada $V_a = 0,85$ m/s dan $n = 600$ rpm diperoleh $J = 0,266$. Kondisi ini digunakan sebagai titik desain karena mewakili operasi korektif pada kecepatan masuk moderat. Tabel 2 memperlihatkan perubahan koefisien dan Tabel 3 menunjukkan konsekuensi terhadap thrust, daya poros, dan efisiensi.

Tabel 2. Koefisien Hidrodinamika pada $J = 0,266$

Konfigurasi	K_t	K_ϕ	Interpretasi
C0	0,0614	0,00581	Propeler terbuka acuan
C1	0,0713	0,00636	Efek penambahan duct dan jumlah sudu
C2	0,0757	0,00656	Tambahan efek planform heksagonal
C3	0,0780	0,00673	Sudu + duct heksagonal

Tabel 3. Performa pada $V_a = 0,85$ m/s

Konfigurasi	Thrust (N)	Daya (W)	η_o	ΔT vs C0
C0	66,03	125,50	0,447	-
C1	76,61	137,38	0,474	+16,0%
C2	81,36	141,74	0,488	+23,2%
C3	83,88	145,34	0,491	+27,0%

C1 telah meningkatkan thrust sebesar sekitar 16% terhadap C0, yang menunjukkan kontribusi utama dari peningkatan loading area dan duct.

Perubahan C1 ke C2 memberi tambahan thrust sekitar 6,2%, sedangkan perubahan C2 ke C3 menambah sekitar 3,1%. Pola tersebut penting karena menunjukkan bahwa keunggulan C3 tidak seluruhnya berasal dari bentuk heksagonal; sebagian besar manfaat sudah muncul akibat penggunaan enam sudu dan duct. Dengan pemisahan konfigurasi, novelty geometris dapat dinilai lebih kritis dan tidak dibesar-besarkan.

Peningkatan thrust C3 sebesar 27,0% diikuti kenaikan daya poros 15,8%. Karena kenaikan thrust lebih besar daripada kenaikan daya, efisiensi meningkat dari 0,447 menjadi 0,491 atau sekitar 9,7%. Hasil ini sejalan secara kualitatif dengan Villa et al. (2020) dan Liu et al. (2021), yang menunjukkan bahwa duct dapat meningkatkan gaya hidrodinamika dan, pada kondisi tertentu, efisiensi. Namun hasil ini tidak boleh dibandingkan sebagai angka absolut dengan studi tersebut karena geometri, Reynolds number, nozzle, dan metode numeriknya berbeda.

3.2 Pengaruh kecepatan arus dan advance coefficient

Tabel 4. Sensitivitas Performa C0 dan C3 Terhadap Kecepatan Masuk

V_a (m/s)	J	T C0 (N)	T C3 (N)	Gain T
0,40	0,12 5	83,51	109,61	31,25%
0,60	0,18 8	75,93	98,23	29,38%
0,85	0,26 6	66,03	83,88	27,03%
1,00	0,31 3	59,87	75,22	25,62%
1,20	0,37 5	51,41	63,61	23,75%

Tabel 4 menunjukkan bahwa keunggulan thrust C3 menurun dari 31,25% pada V_a 0,40 m/s menjadi 23,75% pada 1,20 m/s. Penurunan tersebut berasal dari dua mekanisme dalam model: K_t dasar berkurang ketika J meningkat dan faktor augmentasi duct juga dibuat menurun terhadap J. Kecenderungan ini sesuai dengan prinsip ducted propeller, yaitu manfaat nozzle umumnya paling menonjol pada kondisi bollard atau advance ratio rendah, sedangkan pada kecepatan lebih tinggi drag duct dapat mengurangi keuntungan bersih. Studi eksperimental/numerik Villa et al. (2020) serta kajian nozzle Bahatmaka et al. (2021) juga

menunjukkan pentingnya mencocokkan geometri duct dengan kondisi operasi.

Efisiensi C3 meningkat seiring J dari sekitar 0,239 pada V_a 0,40 m/s menjadi 0,661 pada 1,20 m/s, namun kenaikan relatif terhadap C0 berkurang dari 11,7% menjadi 8,1%. Artinya, nilai efisiensi absolut yang tinggi pada J lebih besar tidak boleh diartikan bahwa duct semakin dominan. Justru selisih relatif terhadap baseline mengecil. Untuk rumpun, indikator utama bukan mencari efisiensi puncak seperti pada kapal jelajah, tetapi memastikan thrust yang cukup pada duty cycle pendek dengan daya listrik yang masih dapat dipenuhi sistem energi onboard.

3.3 Robustness dan Implikasi Desain Pra-CFD

Ketidakpastian terbesar model berasal dari pemilihan K_t dan K_ϕ . Sebagai pemeriksaan sederhana, apabila K_t C3 diturunkan 5% dan K_t C0 dinaikkan 5% secara bersamaan, keunggulan thrust C3 pada titik desain masih sekitar 14,9%. Pemeriksaan ini tidak menggantikan uncertainty quantification formal, tetapi menunjukkan bahwa ranking $C3 > C2 > C1 > C0$ tidak langsung berubah oleh perturbasi kecil terhadap koefisien thrust. Untuk efisiensi, ketidakpastian K_ϕ lebih sensitif sehingga verifikasi torque harus menjadi prioritas pada tahap berikutnya.

Tahap lanjutan yang paling relevan adalah CFD RANS menggunakan domain rotating–stationary dengan MRF atau sliding mesh, turbulence model SST k- ω , mesh refinement pada tip clearance dan trailing edge, serta uji independensi mesh. Islam dan Jahra (2019) memperlihatkan bahwa mesh/domain optimization sangat menentukan akurasi prediksi open-water, sedangkan He et al. (2024) menunjukkan bahwa pemilihan turbulence model memengaruhi hasil ducted propeller. Setelah itu, model C0 dan C3 perlu diuji pada towing tank atau recirculating flume untuk memperoleh thrust dan torque aktual. Kondisi permukaan laut dan immersion depth juga harus diperhatikan karena Eom et al. (2021) membuktikan adanya perubahan performa ketika propeler beroperasi dekat free surface dan gelombang.

Aspek pemeliharaan turut penting. Song et al. (2020) menunjukkan bahwa biofouling dapat menurunkan thrust coefficient sekaligus meningkatkan torque coefficient. Pada rumpun yang beroperasi lama, duct dapat melindungi sudu dari benda asing namun juga menambah area yang rentan fouling. Oleh sebab itu, desain akhir tidak

cukup dinilai dari thrust awal; kemudahan pembersihan, material, proteksi korosi, dan akses inspeksi harus diintegrasikan sejak tahap prototipe.

4. Simpulan

Model numerik parametrik menunjukkan bahwa konfigurasi sudu dan duct heksagonal C3 memberikan performa paling baik pada rentang kecepatan desain 0,40–1,20 m/s. Pada titik 0,85 m/s, thrust meningkat dari 66,03 N pada propeler terbuka C0 menjadi 83,88 N pada C3, sedangkan efisiensi open-water meningkat dari 0,447 menjadi 0,491 dengan kenaikan daya poros dari 125,50 W menjadi 145,34 W. Keuntungan thrust C3 berada pada 23,75–31,25% dan cenderung menurun ketika advance coefficient meningkat, sehingga geometri duct paling relevan untuk operasi korektif berkecepatan rendah sampai menengah. Pemisahan C0–C3 menunjukkan bahwa sebagian besar peningkatan berasal dari kombinasi jumlah sudu dan duct, sedangkan kontribusi geometri heksagonal bersifat tambahan. Dampak penelitian adalah tersedianya dasar seleksi desain yang lebih kritis sebelum investasi pada CFD geometri penuh dan uji open-water. Hasil tidak dimaksudkan sebagai klaim performa lapangan; validasi CFD, eksperimen, data arus aktual, dan evaluasi biofouling diperlukan sebelum implementasi pada rumpon.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Pelayaran Malahayati serta institusi para penulis atas dukungan akademik dan lingkungan kolaborasi penelitian di bidang teknologi maritim dan energi terbarukan.

Daftar Pustaka

Bahatmaka, A., Prabowo, A. R., & Kim, D.-J. (2021). Effect of nozzle performance on the ducted propeller: A benchmark-simulation study using OpenFOAM. *Transportation Research Procedia*, 55, 645–652. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.031>

Carlton, J. S. (2019). *Marine propellers and propulsion* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Eom, M.-J., Jang, Y.-H., & Paik, K.-J. (2021). A study on the propeller open water performance due to immersion depth and regular wave. *Ocean Engineering*, 219, 108265.

<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108265>

He, N. V., Cong, N. C., & Loi, L. N. (2024). Using CFD to investigate the effect of ducts on propeller performance. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, 21(2), 87–101. <https://doi.org/10.3329/jname.v21i2.37895>

Islam, M., & Jahra, F. (2019). Improving accuracy and efficiency of CFD predictions of propeller open water performance. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, 16(1), 1–20. <https://doi.org/10.3329/jname.v16i1.34756>

Liu, Y., Gong, Q., Bian, Y., & Suo, Q. (2021). Effect of ducts on the hydrodynamic performance of marine propellers. *Engineering Computations*, 39(2), 744–772. <https://doi.org/10.1108/EC-03-2021-0190>

Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2017). *Ship resistance and propulsion: Practical estimation of ship propulsive power* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Rima, A., Kurniawan, D., Yudhawastu, K., Fitria, Y. P., Yani, M., & Aziz, M. (2026). Potensi energi gelombang laut sebagai sumber energi terbarukan: Studi kasus pesisir Ujong Batee Politeknik Pelayaran Malahayati. *Jurnal Maritim Malahayati*, 7(1), 405–409.

Rizal, A. M., & Ningsih, N. S. (2020). Ocean wave energy potential along the west coast of the Sumatra island, Indonesia. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 6, 137–154. <https://doi.org/10.1007/s40722-020-00164-w>

Song, S., Demirel, Y. K., & Atlar, M. (2020). Propeller performance penalty of biofouling: Computational fluid dynamics prediction. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 142(6), 061901. <https://doi.org/10.1115/1.4047201>

Villa, D., Gaggero, S., Tani, G., & Viviani, M. (2020). Numerical and experimental comparison of ducted and non-ducted propellers. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(4), 257. <https://doi.org/10.3390/jmse8040257>

Zhang, R., & Zhou, S. (2020). Numerical investigation on hydrodynamic performance of a ducted propeller for vectored underwater robot. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 32(6), 1259–1267. <https://doi.org/10.20965/jrm.2020.p1259>