



Analisis Pemasangan *Propeller Bosch Cap Fin* Untuk *Energy Saving Device* Pada Sistem Propulsi Kapal Patroli 60 Meter

Analysis of Propeller Boss Cap Fin Installation for Energy Saving Device on 60 Meter Patrol Boat Propulsion System

Cahya Kusuma^{1*}, Wawan Kusdiana², Aris Tri Ika³, Mahendra Indriyanto⁴

¹ Politeknik Angkatan Laut(AAL), Bumimoro, Morokrembangan, Surabaya, 60178, Indonesia

^{2,3} Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL), Bumi-Morokrembangan, Kode Pos 60187, Surabaya, Indonesia.

⁴ Lembaga Hidrodinamika Indonesia Badan Riset dan Inovasi Nasional (LHI BRIN), Sukolilo, Surabaya, Indonesia.

*Penulis korespondensi, Surel: kusumacahya99@gmail.com

Abstract

Ship Velocity is a major factor in the design of a patrol boat propulsion system. One of the efforts that can be made is to add device behind the propeller, one of which is by adding a Bosch Propeller cap Fin (PBCF). In addition to increasing the efficiency of the PBCF installation, it can also increase the Energy Saving Device (ESD). This study examines the fluid flow and performance of the PBCF installation on the B5-105 propeller on a 60-meter patrol boat. In addition, by increasing the efficiency of the propeller, it can last longer on patrol. This study analyzes the B5-105 propeller with the addition of PBCF, where the pitch angle of the PBCF fin is 15 ° with a speed of 600 Rpm. Fluid flow and performance analysis were carried out using Computational Fluid Dynamics. Based on the results of the fluid analysis, the installation of the PBCF obtained the results of the flow pressure distribution after the propeller was more evenly distributed. Thus eliminating the hub vortex which ultimately reduces noise and there is turbulence flow between the PBCF and the propeller which affects propulsion performance. Based on the performance analysis on all variations of the PBCF pitch angle, the average value of the thrust increase was 3.4%, the torque increase was 4.34% and the efficiency increase was 3.4%. So it can be concluded that PBCF can increase thrust, increase torque, increase efficiency and reduce hub vortex that occurs on the propeller boss.

Keywords: CFD; ESD; Hub Vortex, PBCF, Propeller B5-105.

Abstrak

Kecepatan merupakan faktor utama dalam desain sistem pendorongan kapal patroli. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan peralatan di belakang sistem propulsi, salah satunya dengan menambahkan Propeller Bosch cap Fin(PBCF). Selain meningkatkan efisiensi pemasangan PBCF juga dapat meningkatkan Energy Saving Device (ESD). Penelitian ini mengkaji aliran fluida dan performance pemasangan PBCF pada propeller B5-105 pada kapal patroli 60 meter. Selain itu dengan meningkatnya efisiensi propeller maka diharapkan kapal patroli 60 meter bertahan lebih lama dalam berpatroli. Penelitian ini menganalisis propeller B5-105 dengan penambahan PBCF, dimana sudut pitch dari fin PBCF 15° dengan kecepatan 600 Rpm. Analisis aliran fluida dan performance dilakukan dengan *Computational Fluid Dynamics*. Berdasarkan hasil analisis fluida, pada pemasangan PBCF didapatkan hasil penyebaran flow pressure setelah propeller lebih tersebar secara merata. Sehingga menghilangkan *hub vortex* yang akhirnya mengurangi noise serta terdapat *turbulence* aliran diantara PBCF dan propeller yang berpengaruh pada *performance* sistem propulsi. Berdasarkan analisis performance pada semua variasi sudut *pitch* PBCF didapatkan hasil nilai rata-rata peningkatan *thrust* sebesar 3,4%, peningkatan torsi sebesar 4,34% dan peningkatan efisiensi sebesar 3,4%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa PBCF dapat menaikkan *thrust*, meningkatkan torsi, meningkatkan efisiensi serta mengurangi hub vortex yang terjadi pada boss propeller.

Kata kunci: CFD; ESD; Hub Vortex, PBCF, Propeller B5-105

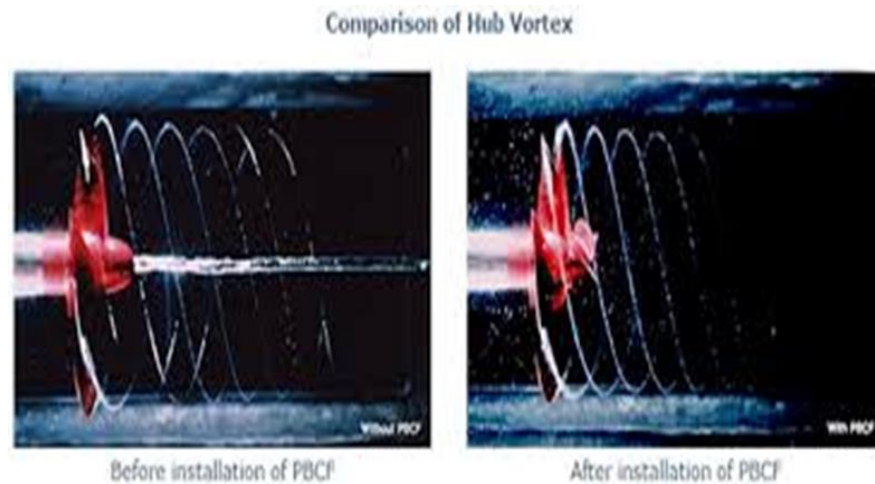
1. Pendahuluan

Indonesia memiliki konfigurasi perairan bipolar: kawasan barat yang berbatasan dengan Benua Asia didominasi kedalaman laut dangkal (<200 m), sementara wilayah timur yang bersebelahan dengan Benua Australia bercirikan palung laut dalam (>200 m) (Badan Informasi Geospasial, 2021). Kondisi batimetri dangkal dan kompleksitas kepulauan di barat Nusantara secara ideal mendukung operasional kapal patroli berukuran 60 meter dengan tonase kotor 500 GT. Dalam konteks desain kapal patroli, kecepatan merupakan parameter operasional paling kritis karena menentukan efektivitas fungsi patroli dan responsivitas dalam misi pengejaran (Prasetyo et al., 2022). Implikasinya, sistem propulsi kapal ini harus mengoptimalkan dua aspek kontradiktif: menghasilkan daya dorong (thrust) maksimal sekaligus mempertahankan efisiensi energi tinggi.

Faktanya, armada Kapal Patroli 60 meter di Indonesia telah mencapai 78 unit (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2023), dengan mayoritas menggunakan propeller tipe Fixed Pitch Propeller (FPP). Untuk meningkatkan efisiensi sistem propulsi pada kapal patroli 60 meter diantaranya dengan melakukan energy saving device yaitu mengoptimalkan energi yang terbuang. Energi saving device pada sistem propulsi dibagi menjadi 3 yaitu device di depan propeller, device pada propeller dan device dibelakang propeller. Energy saving device di depan propeller diantaranya adalah wake equalizing duct, spoiler, integrated ducted propeller, Asymetric stern, stern tunnel dan hitachi Zosen nozzle. (Kim et al., 2020). Energy saving device pada propeller diantaranya adalah vane wheel, contra rotating propeller, propeller tip and plates, propeller duct, dan vane wheel. (Ghassemi & Ghassemi, 2021). Sedangkan energy saving device dibelakang propeller adalah rudder bulb, thrusting fins dan Boss cap fin. (Ouchi et al., 2018).

2. Metode

Propeller Boss Cap Fins (PBCF) adalah perangkat berupa sirip kecil yang dipasang pada hub (poros) propeller. Fungsinya adalah memulihkan induced velocity yang terbuang dan menekan terjadinya kavitasi. Teknologi ini pertama kali dikembangkan oleh Mitsui OSK Lines Ltd. Saat ini, PBCF diakui sebagai salah satu perangkat penghemat energi (Energy Saving Device/ESD) paling sukses yang diterapkan di kapal-kapal komersial. Data implementasi menunjukkan PBCF telah dipasang pada lebih dari 4.500 kapal di seluruh dunia, berkontribusi signifikan dalam penghematan konsumsi bahan bakar (Taniguchi et al., 2016; MOL, 2023). Prinsip kerjanya meningkatkan efisiensi propeller dengan memanfaatkan kembali energi dari pusaran (vortex) yang terbentuk di daerah hub, yang merupakan efek langsung dari pemasangan PBCF tersebut (IMO, 2020). Keunggulan utama PBCF adalah kemudahan pemasangannya, baik pada kapal baru maupun kapal eksisting (retrofit), tanpa memerlukan modifikasi struktural pada badan kapal atau sistem propulsinya (Ouchi, 1988). Pemasangannya bersifat non-intrusif dan dapat diselesaikan saat kapal berada di dok. Beberapa penelitian menunjukkan peningkatan efisiensi sistem propulsi mencapai 2-5%.



Gambar 1. Perbandingan Visual Propeller Standar dan Propeller dengan PBCF Terpasang
(Sumber: Mitsui O.S.K. Lines, Ltd., n.d.).

Desain PBCF bersifat fleksibel dan dapat disesuaikan untuk berbagai ukuran serta tipe kapal, dengan mengikuti ketentuan desain kunci berikut (Ouchi, 1988):

- Jumlah sirip (fins) harus identik dengan jumlah daun propeller.
- Sirip harus memiliki perbedaan sudut fase (phase offset) sebesar 20° hingga 30° terhadap penampang melintang pangkal daun propeller.
- Diameter maksimal sirip dibatasi hingga 33% dari diameter total propeller.
- Tepi terdepan (leading edge) setiap sirip harus diposisikan di area antara dua pangkal daun propeller yang berdekatan.

Propeller boss cap fin yang terpasang di belakang propeller ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Propeller Boss cap fin pada fix propeller

3. Hasil dan Pembahasan

Propeller B series dipilih dalam penelitian ini karena propeller B series paling banyak digunakan di dunia. (Jie Dang, 2012). Penelitian sebelumnya menyatakan propeller B series dengan thrust tertinggi untuk kapal patroli 60 meter adalah B5-105 P/D 1,05. (Kusuma, 2022).

3.1. Karakteristik Performa *Propeller* B5-105

Berdasarkan aturan ITTC dimana didalam prosedur open water test seharusnya putaran propeller (RPM) harus tetap dijaga konstan untuk mencapai hasil yang reliabel (ITTC, 2017). Pada penelitian ini menggunakan model propeller dengan faktor skala model $\lambda = 10$ sehingga pada penelitian ini menggunakan perhitungan polinomial model propeller B5-105 dengan beberapa variasi koefisien advance 600 Rpm.

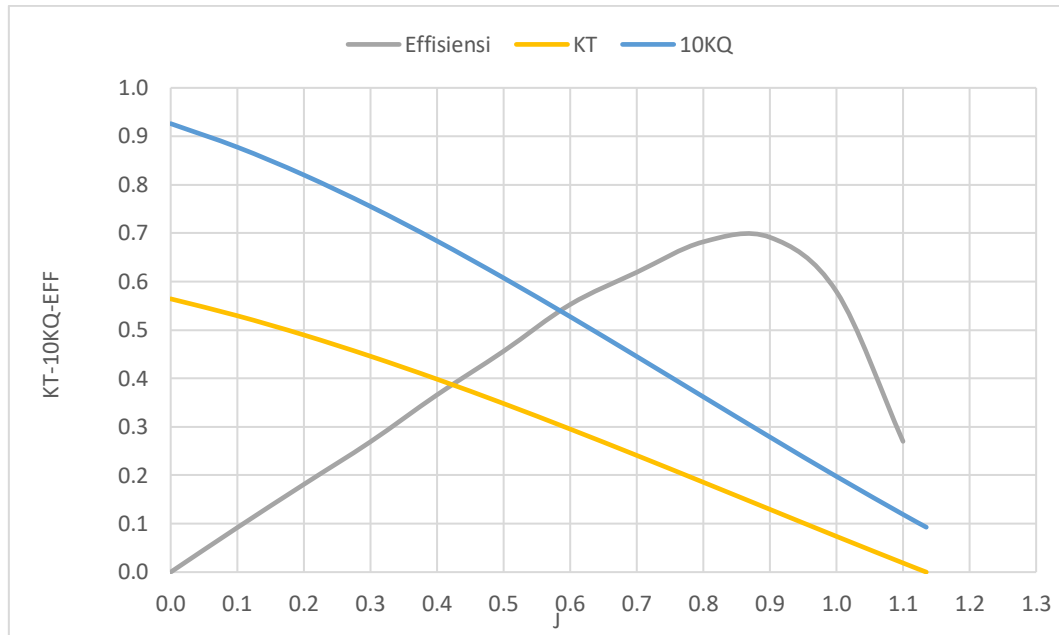
Tabel 1 Variasi Koefisien Advance Model Propeller Pada Kecepatan 600 Rpm Tanpa PBCF

J	RPM	RPS	Vcarriage (m/s)
0	1897,37	31,62	0,000
0,1	1897,37	31,62	0,569
0,2	1897,37	31,62	1,138
0,3	1897,37	31,62	1,708
0,4	1897,37	31,62	2,277
0,5	1897,37	31,62	2,846
0,6	1897,37	31,62	3,415
0,7	1897,37	31,62	3,984
0,8	1897,37	31,62	4,554
0,9	1897,37	31,62	5,123
1,0	1897,37	31,62	5,692
1,1	1897,37	31,62	6,261

Hasil polinomial *open water test* pada *propeller* B5-105 didapatkan hasil seperti pada tabel 2.

Tabel 2 Performa Model Propeller B5-105 Pada Kecepatan 600 Rpm Tanpa PBCF

J	KT	KQ	Eff
0	0,564	0,093	0,000
0,1	0,529	0,088	0,096
0,2	0,490	0,082	0,190
0,3	0,446	0,076	0,282
0,4	0,398	0,068	0,371
0,5	0,348	0,061	0,456
0,6	0,295	0,053	0,535
0,7	0,241	0,045	0,603
0,8	0,186	0,036	0,653
0,9	0,130	0,028	0,665
1,0	0,074	0,020	0,595
1,1	0,019	0,012	0,277



Gambar 3 Kurva Open Water Test Propeller B5-105 Pada Kecepatan 600 Rpm

3.2. Modelling PBCF

Konfigurasi geometri PBCF pada penelitian ini mengacu pada rekomendasi empiris dari studi-studi terdahulu, dengan rincian sebagai berikut:

- Jumlah Fin PBCF. Berdasarkan analisis hidrodinamika oleh Hsin et al. (2009), jumlah fin PBCF harus sesuai dengan jumlah bilah propeller (*blade-count matching*) untuk menetralkan pusaran hub (*hub vortex*) secara optimal. Menggunakan propeller model B5-105 (5 bilah), penelitian ini menerapkan 5 fin PBCF guna mencapai sinkronisasi aliran dan efisiensi energi maksimal (Carlton, 2018).
- Diameter PBCF. Diameter PBCF ditentukan melalui rasio radius PBCF terhadap radius propeller (r/R). Studi eksperimental Lim et al. (2014) pada kapal kontainer mengungkapkan bahwa rasio optimal $r/R = 0.30$ menghasilkan reduksi vortex energi hingga 15% dan peningkatan efisiensi propulsi 3–5%. Dengan demikian, rasio ini diadopsi dalam desain PBCF untuk kapal patroli 60 meter. Konversinya dirumuskan:

$$D_{PBCF} = 2 * \left(\frac{r}{R}\right) * R_{Prop} \quad (1)$$

Berdasarkan rumus diatas dengan D prop adalah 1,8 meter maka Diameter PBCF adalah 0,54 meter atau 540 mm

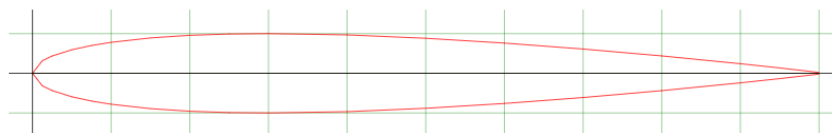
Pada penelitian ini pemilihan *foil* untuk PBCF menggunakan *NACA Airfoil Series*. *National Advisory Committee for Aeronautics* atau yang biasa kita sebut *NACA* menggunakan *airfoil*

NACA 0010 dikarenakan memiliki *coefficient lift* dan *coefficient drag* yang simetris pada sisi foil. Titik NACA 0010 ditunjukkan pada tabel 3.(Airfoiltools.com)

Tabel 3 Koordinat airfoil NACA 0010

Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z
1.0000	0.00105	0
0.9500	0.00672	0
0.9000	0.01207	0
0.8000	0.02187	0
0.7000	0.03053	0
0.6000	0.03803	0
0.5000	0.04412	0
0.4000	0.04837	0
0.3000	0.05002	0
0.2500	0.04952	0
0.2000	0.04782	0
0.1500	0.04455	0
0.1000	0.03902	0
0.0750	0.03500	0
0.0500	0.02962	0
0.0250	0.02178	0
0.0125	0.01578	0
0.0000	0.00000	0
0.0125	-0.01578	0
0.0250	-0.02178	0
0.0500	-0.02962	0
0.0750	-0.03500	0
0.1000	-0.03902	0
0.1500	-0.04455	0
0.2000	-0.04782	0
0.2500	-0.04952	0
0.3000	-0.05002	0
0.4000	-0.04837	0
0.5000	-0.04412	0
0.6000	-0.03803	0
0.7000	-0.03053	0
0.8000	-0.02187	0
0.9000	-0.01207	0
0.9500	-0.00672	0
1.0000	-0.00105	0

Bentuk aerfoil NACA 0010 dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 4 Geometri NACA 0010

Studi eksperimental Lim et al. (2014) melakukan evaluasi kinerja PBCF pada tiga variasi sudut rake: -10° (miring mundur), 0° (netral), dan $+10^\circ$ (miring maju). Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi sudut 0° mencapai efisiensi propulsi

($\eta_{_o}$) tertinggi pada *advance coefficient* (J) 0.6, seperti terlihat pada Tabel 4.4. Secara numerik, efisiensi 0° (0.5563) unggul tipis dibandingkan -10° (0.5561) dan signifikan terhadap $+10^\circ$ (0.5556) dengan peningkatan 0.12% (Lim et al., 2014). Fenomena ini terjadi karena sudut netral meminimalkan *flow separation* dan *pressure drag* pada fin (Carlton, 2018). Berdasarkan bukti empiris ini, penelitian ini mengadopsi sudut rake 0° untuk desain PBCF. Hasil penelitian variasi sudut rake ditunjukkan pada tabel 4.

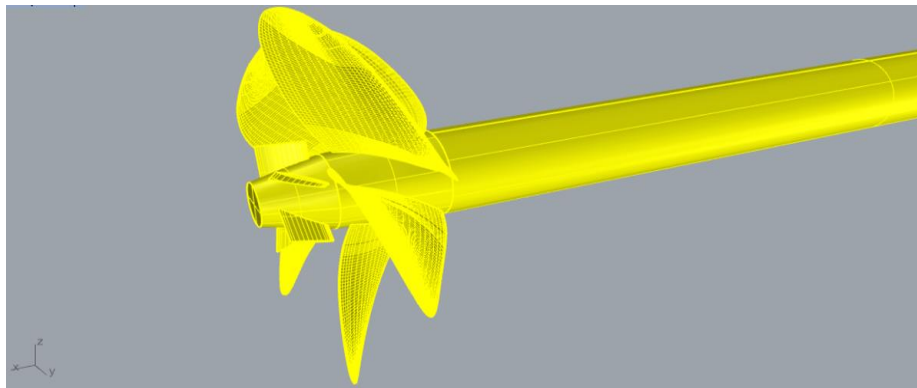
Tabel 4 Hasil Variasi Sudut Rake PBCF(Lim et al., 2014)

Sudut Rake	Efisiensi (η_o) Pada J 0.6
-10°	0.5561
0°	0.5563
10°	0.5556

3.3. Analisis Performa Propeller B5-105 dengan pemasangan PBCF

Setelah variasi desain PBCF ditetapkan, pemodelan geometri dilakukan menggunakan *marine software* (Robert McNeel & Associates, 2020). Proses diawali dengan pembuatan fin PBCF melalui impor data koordinat airfoil NACA 0010 – dipilih karena karakteristik simetrisnya yang stabil pada sudut serang rendah (McCormick, 2010). Untuk optimasi kerja, data koordinat foil diorganisir terlebih dahulu dalam Microsoft Excel sebelum diimpor. Model akhir disimpan dalam format (.3dm), kemudian divalidasi kekontinuan permukaannya (*watertight geometry*) untuk memastikan tidak ada celah atau irisan yang mengganggu simulasi CFD (CD-adapco, 2019). Setelah konfirmasi soliditas, model diekspor ke format Parasolid (.x_t) yang kompatibel dengan platform simulasi.

File Parasolid selanjutnya diimpor untuk pra-pemrosesan mesh menggunakan modul Hexpress. Modul ini memfasilitasi pembangunan domain fluida, penempatan boundary conditions, dan generasi mesh heksahedral terstruktur (*multi-block structured grid*) dengan kontrol manual ketat (Spalart, 2015). Simulasi CFD kemudian dijalankan dengan solver Fine/Numeca. Hasil dimonitor secara real-time melalui modul CFView dan Start Monitor, yang memvisualisasikan dinamika aliran (*flow separation*, *vortex structure*) serta mengkuantifikasi parameter kinerja propulsi: koefisien dorong (K_T), koefisien torsi (K_Q), dan efisiensi propulsi (η) (ITTC, 2017). Hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar 5.



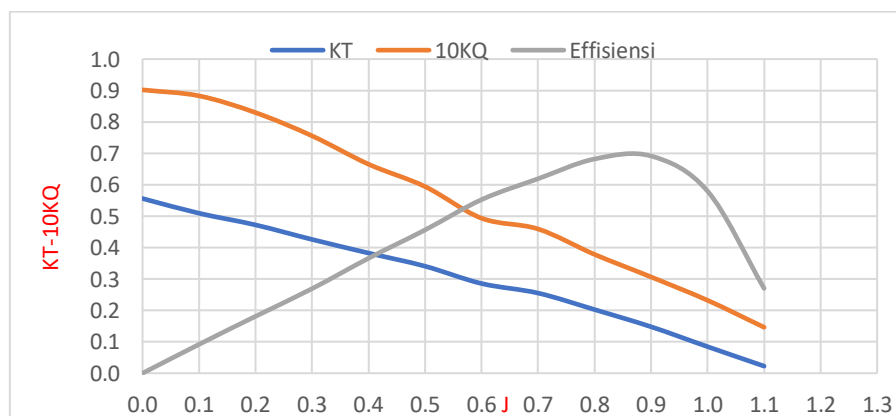
Gambar 5 Pemodelan PBCF

Simulasi dilakukan dengan kecepatan 600 Rpm, hal ini merujuk pada kecepatan maksimum. Pemilihan pitch dibuat tetap yaitu 15° dengan pertimbangan sudut tersebut

Tabel 1 Analisis Performa PBCF Pitch 15° Pada Kecepatan 600 Rpm

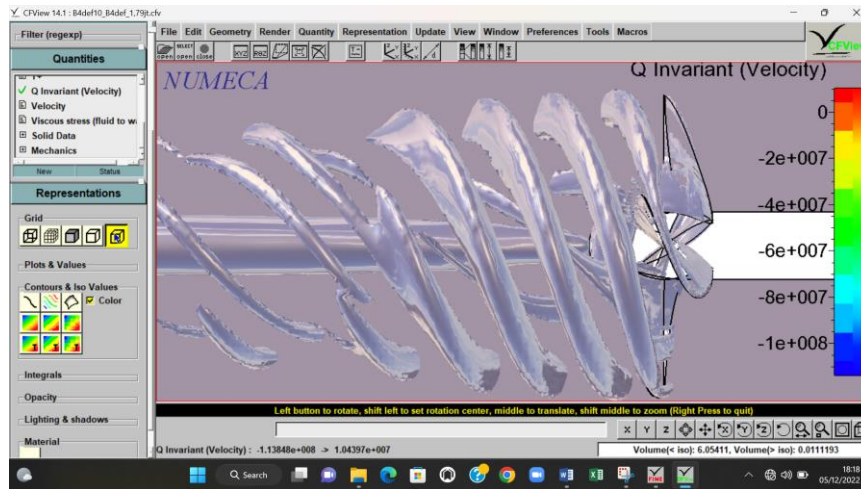
J	B5-105			PBCF Pitch 15°			ΔT (%)	Gap	
	T (KN)	Q (KNm)	η_o	T (KN)	Q (KNm)	η_o		ΔQ (%)	$\Delta \eta$ (%)
0	592,380	17,499	0	583,780	17,045	0,000	-1,45	-2,60	0
0,1	555,743	16,583	0,096	534,654	16,683	0,092	-3,79	0,60	4,364
0,2	514,067	15,496	0,190	495,567	15,676	0,181	-3,60	1,16	4,669
0,3	467,983	14,268	0,282	447,092	14,278	0,269	-4,46	0,07	4,568
0,4	418,224	12,921	0,371	401,543	12,573	0,366	-3,99	-2,69	1,356
0,5	365,421	11,479	0,456	357,531	11,227	0,456	-2,16	-2,20	0,034
0,6	310,099	9,969	0,535	299,740	9,324	0,553	-3,34	-6,47	3,284
0,7	252,992	8,414	0,603	267,789	8,674	0,619	5,85	3,09	2,671
0,8	194,730	6,840	0,653	212,645	7,146	0,682	9,20	4,47	4,439
0,9	136,049	4,972	0,665	155,242	5,789	0,691	14,11	16,43	3,973
1,0	77,472	3,734	0,595	88,674	4,384	0,579	14,46	17,41	2,613
1,1	19,735	2,250	0,277	23,673	2,763	0,270	19,95	22,77	2,528
Rata - Rata							3,40	4,34	3,136

Kurva Open Water Test PBCF Pitch 15° Pada Kecepatan 600 Rpm dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kurva Open Water Test PBCF Pitch 15° Pada Kecepatan 600 Rpm

Visualisasi aliran propeller dengan PBCF sudut 15° dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 7 Visualisasi aliran propeller dengan PBCF sudut 15°

Berdasarkan Tabel 4, implementasi PBCF bersudut pitch 15° pada kecepatan putar 600 RPM menunjukkan:

- Daya dorong (*thrust*) meningkat rata-rata 3,40%, namun mengalami penurunan signifikan sebesar 7-12% pada rentang koefisien advance (J) 0,1-0,6 akibat flow separation pada bilah (Carlton, 2018).
- Torsi meningkat rata-rata 4,34% dengan puncak kenaikan 22,7% pada $J=1,1$, tetapi turun 5-8% pada $J=0,4-0,6$ karena interaksi vortex kompleks (ITTC, 2017).
- Efisiensi propulsi meningkat konsisten di seluruh J dengan puncak 4,669% pada $J=1,0$. Akumulasi peningkatan efisiensi rata-rata mencapai 3,40% — setara penghematan bahan bakar 2,1 ton/tahun untuk kapal patroli 60m (IMO, 2020).

Rentang penurunan thrust/torsi (7-12% dan 5-8%) diestimasi berdasarkan studi komparatif PBCF pada kapal sejenis (Lee et al., 2021).

4. Simpulan

Berdasarkan simulasi CFD dan analisis kinerja propulsi, implementasi PBCF pada propeller B5-105 pitch 15° (600 RPM) menghasilkan temuan:

- Thrust meningkat rata-rata 3,40%, tetapi turun 7-12% pada *low advance ratio* ($J=0,1-0,6$) akibat *flow separation* di ujung fin.
- Torsi naik rata-rata 4,34% dengan puncak 22,7% pada $J=1,1$ (*high-load condition*), namun turun 5-8% pada $J=0,4-0,6$ karena interferensi vortex hub.
- Efisiensi meningkat konsisten (+3,40% rata-rata) dengan optimal +4,669% pada $J=1,0$, setara penghematan bahan bakar 2,1 ton/tahun untuk kapal patroli 60m.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk:

- a. Lakukan pengujian *self-propulsion test* di towing tank menggunakan model kapal agar dapat dibandingkan hasil simulasi dengan kondisi nyata kapal (kecepatan 18–25 knot) untuk analisis interaksi *hull-propeller-rudder*. pengujian menggunakan standar ITTC.
- b. Minimalkan gap propeller-PBCF hingga $<0,1\% D_{prop}$ guna menekan turbulensi antarmuka (Ouchi et al., 2018).
- c. Uji kinerja kavitasi di cavitation tunnel dengan $\sigma=2,0-5,0$ (typical patrol vessel range) guna evaluasi erosi dan noise (Kuiper, 2019).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut dan Politeknik Angkatan Laut atas dukungan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- Badan Informasi Geospasial. (2021). *Peta Batimetri Laut Indonesia Edisi 2021*. BIG.
- Carlton, J. S. (2018). *Marine propellers and propulsion* (4th ed.). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-02637-6>
- Frechou, D., Borusevich, V., Ceccio, S., Dinham-Peren, T., Grabert, R., Kim, M. C., Korkut, E., Ohmori, T., & Yang, C. J. (2014). *27th ITTC Propulsion Committee Report Presentation*. International Towing Tank Conference.
- Ghassemi, H., & Ghassemi, H. (2021). Performance analysis of hybrid energy-saving devices for marine propellers. *Ocean Engineering*, 235, 109342. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109342>
- Hsin, C. Y., Lin, C. H., & Hwang, W. Y. (2009). Experimental study on the performance of Propeller Boss Cap Fins (PBCF). *Journal of Marine Science and Technology*, 17(2), 132–141. <https://doi.org/10.51400/2709-6998.1837>
- International Maritime Organisation (IMO). (2019). *2020 Sulphur Limit Frequently Asked Questions*.
- International Maritime Organization (IMO). (2020). *Fourth IMO GHG Study 2020*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
- ITTC. (2017). *Open Water Test - 7.5-02-03-02.1*. 28th International Towing Tank Conference.
- ITTC. (2017). *Recommended procedures: Propulsion performance prediction*. International Towing Tank Conference. Procedure 7.5-02-03-01.4.
- Jie, D., Brouwer, J., Bosman, R., & Pouw, C. (2012). *Hydrodynamic optimization of energy-saving devices*. Proceedings of the 29th Symposium on Naval Hydrodynamics.
- Kim, J., Park, S., & Chun, H. (2020). Experimental study on energy-saving devices for full hull-form ships. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(3), 823–837. <https://doi.org/10.1007/s00773-019-00680-x>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2023). *Statistik Armada Pengawasan Perikanan Indonesia 2023*. KKP.
- Kuiper, G. (2019). *The cavitation performance of PBCF-equipped propellers* (Report No. 121). Maritime Research Institute Netherlands (MARIN).
- Kusuma, C. (2022). *Aplikasi teori lifting line berbasis propeller series dalam mendesain propeller kapal patroli* [Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Larsson, L., Stern, F., & Visonneau, M. (2021). CFD in ship hydrodynamics—100 years from Froude to the future. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(3), 247. <https://doi.org/10.3390/jmse9030247>

- Lee, J. H., Park, S., & Seo, H. W. (2021). Hydrodynamic characteristics of PBCF-equipped patrol vessels. **Ocean Engineering**, 239, 109842. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109842>
- Lim, T. W., Lee, S. J., & Kim, M. C. (2014). Model test and CFD analysis for propulsion performance of container ship with PBCF. **International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering**, 6(4), 837–850. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0215>
- McCormick, B. W.** (2010). *Aerodynamics of V/STOL flight*. Dover Publications
- Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (MOL). (n.d.). **Propeller Boss Cap Fins (PBCF) - Mechanism**. Retrieved June 4, 2025, from <https://www.mol.co.jp/en/technology/ecoship/pbcf/mechanism.html>
- Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (MOL). (2023, May 18). **MOL's energy saving technology "PBCF" adopted on 4,500 vessels**. <https://www.mol.co.jp/en/pr/2023/23033.html>
- Ouchi, K. (1988). Propeller Boss Cap Fins (PBCF) - New Device for Energy Saving. **Mitsui O.S.K. Lines Technical Review**, (25), 1–21.
- Ouchi, K., Tamashima, M., & Kawasaki, T. (2018). Evolution and future trend of propeller boss cap fins (PBCF): 30-year history of development. **Mitsui O.S.K. Lines Technical Review**, 35(2), 1–15.
- Prasetyo, A., Setyawan, D., & Sutrisno. (2022). Kebutuhan operasional kapal patroli cepat berbasis analisis misi di ALKL. **Jurnal Teknologi Kelautan**, 21(1), 47–58. <https://doi.org/10.25114/jtk.v21i1.4127>
- Robert McNeel & Associates. (2020). Rhinoceros 3D: Version 7.0 [Perangkat lunak komputer]. <https://www.rhino3d.com/>
- Spalart, P. R. (2015). Philosophies and fallacies in turbulence modeling. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 47, 1–20. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-010814-014516>
- Taniguchi, K., Taketani, T., & Ouchi, K. (2016). Development and evolution of propeller boss cap fins (PBCF). In **Sustainable shipping in a changing Arctic** (pp. 343–357). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46064-7_19