



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Pemasangan *Energy Saving Device* (ESD) Terhadap Performa Propeller B-Series

Arif Budi Jatmiko¹⁾, Andi Trimulyono²⁾, Hartono Yudo³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : arifbudijatmiko123@gmail.com

Abstrak

Performa kapal sangat dipengaruhi oleh kinerja propeller. Oleh karena itu banyak dilakukan studi pengoptimalan propeller kapal sebagai penggerak utama kapal. Salah satunya yaitu dengan pemasangan *Energy Saving Device* (ESD) yang mampu memperkecil *loss energy* yang disebabkan oleh kinerja propeller. Ada beberapa jenis ESD, salah satunya *Propeller Boss Cap Fin* (PBCF), yaitu penambahan sirip kecil pada hub propeller untuk mengurangi *hub vortex*. Sehingga tercipta aliran yang selaras dan mengembalikan *rotational energy* yang hilang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemasangan ESD jenis *Propeller Boss Cap Fins* terhadap performa propeller B-Series pada kapal Ro-Ro 1000 GT. Penelitian ini membandingkan performa propeller sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan PBCF tanpa mengubah dimensi propeller tersebut. Namun dilakukan variasi diameter pada fin PBCF, sebesar 0,1D, 0,2D dan 0,3D serta sudut cap 15°, 20° dan 25°. Dari hasil penelitian, diperoleh kombinasi terbaik pada variasi 7, yaitu dengan diameter fin 0,2D dan cap 20° yang mampu meningkatkan efisiensi sebesar 5% dengan *thrust* 71371,7 N dan *torque* 18580,3 Nm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *Energy Saving Device* mampu meningkatkan performa propeller menjadi lebih optimal.

Kata Kunci : *Propeller, B-Series, Thrust, Energy Saving Device, Propeller Boss Cap Fins*

1. PENDAHULUAN

Performa kapal sangat dipengaruhi oleh kinerja propeller. Oleh karena itu banyak dilakukan studi pengoptimalan propeller kapal sebagai penggerak utama kapal. Salah satunya yaitu dengan pemasangan *Energy Saving Device* (ESD) yang menjadi opsi tanpa mengubah badan kapal. *Energy Saving Device* (ESD) mampu memperkecil *loss energy* yang disebabkan oleh kinerja propeller.

Salah satu ESD yang telah dikembangkan saat ini yaitu *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF), sirip kecil yang terpasang pada hub propeller guna mengurangi *hub vortex* [1]. Aliran yang ditimbulkan pada hub propeller mampu selaras dengan aliran pada daun propeller. Sehingga dapat mengembalikan *rotational energy* yang hilang, serta mampu mengurangi kavitasi [2].

Kelebihan dari PBCF ini antara lain konstruksi sederhana dan mudah dalam pemasangan, mudah dalam perawatan, investasi

yang cukup rendah, tidak memerlukan persetujuan klasifikasi, dan mampu meningkatkan gaya dorong (*thrust*) dan efisiensi dari propeller [3].

Terdapat beberapa aspek yang diperhatikan dalam pemasangan PBCF, yaitu jumlah fin harus sama dengan jumlah daun pada propeller, perbedaan fase pada cross-section dari pangkal daun propeller dengan sirip bervariasi 20° – 30°, diameter fin/sirip tidak lebih dari 33% dari diameter propeller, dan leading edge dari fin terletak dekat antara dua pangkal daun propeller [4].

Modifikasi cap propeller juga dapat dilakukan, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Abar dan Utama, dengan memvariasikan sudut kemiringan *hub cap* tipe divergen dan konvergen sebesar 5°, 10° dan 15° [5]. Hasil menunjukkan hub konvergen mampu meningkatkan efisiensi sebesar 1,4% dan bertambah 0,8% setelah diubah menjadi PBCF. Sedangkan tipe divergen justru mengurangi

efisiensi 1,2% dan penurunan lebih lanjut sekitar 1% setelah diubah menjadi PBCF.

Pada penelitian yang dilakukan Alfian Tri Eka Kurniawan dengan variasi diameter PBCF dan sudut *cross-section* diperoleh efisiensi tertinggi pada 0,2D dan sudut 49° [6]. Namun pemasangan sudut fase pada *cross-section* ini diluar range yang disyaratkan. Lalu pada penelitian yang dilakukan oleh Syafriansyah, dengan variasi jumlah fins PBCF tidak memberikan pengaruh besar, menghasilkan perbedaan thrust, torque dan efisiensi sebesar 0,2% [3].

Oleh karena itu, penulis ingin melakukan penelitian variasi diameter fin sebesar 0,1D, 0,2D dan 0,3D serta variasi sudut cap hub sebesar 15° dan 20° tipe konvergen pada propeller B-Series kapal Ro-Ro 1000 GT. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *Energy Saving Device* jenis PBCF terhadap performa propeller. Manfaat dari penelitian yang dilakukan yaitu dapat menjadi referensi tentang pengaruh pemasangan *Energy Saving Device* bagi penelitian selanjutnya.

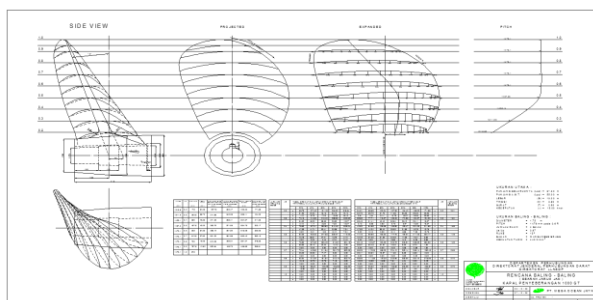
2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Pada penelitian ini, objek yang digunakan adalah propeller dari Kapal Ro-Ro 1000 GT milik ASDP yang berjumlah 2 propeller (kanan dan kiri), gambar 1. Detail ukuran utama propeller ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. *Main Dimension Propeller*

Jenis Propeller	B-Series
Diameter	1750 mm
Pitch	1479 mm
Jumlah Blades	4 blades
Ae/Ao	0,67
Rake Angle	15°
Bahan	Manganese Bronze



Gambar 1. Propeller Kapal Ro-Ro 1000 GT

Main engine yang digunakan adalah Mitsubishi Marine Engine dengan type S12A2-MPTK (C) dan *gearbox* Hitachi Nico Marine

Transmission model MGN 335E dengan spesifikasi pada tabel 2 dan 3

Tabel 2. Spesifikasi *Main Engine*

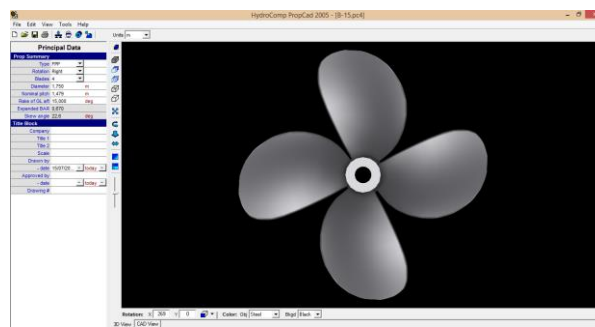
Main Engine	Mitsubishi Marine Engine
Tipe	S12A2-MPTK (C)
Daya Mesin (HP)	1040
RPM	2000
Berat Mesin (kg)	3890
Panjang (mm)	2438,5
Lebar (mm)	1482
Tinggi (mm)	1595,5

Tabel 3. Spesifikasi *Gearbox*

Gearbox	Hitachi Nico Marine Transmission
Model	MGN 335E
Rasio	4,72
RPM Maksimal	2300
Daya Maksimal (HP)	1215

2.2. Pembuatan Model Propeller

Dari data yang telah dikumpulkan, selanjutnya dilakukan permodelan propeller. Pada penelitian ini, pembuatan model propeller menggunakan software CAD Propeller untuk mendapatkan geometri propeller, ditunjukkan pada gambar 2. Lalu di-*export* ke software CAD guna mendapatkan hasil propeller secara 3D. Pada tahap ini harus dipastikan model propeller solid, agar dapat dilakukan simulasi CFD untuk di-*validasi*.



Gambar 2. Model Propeller B-Series Kapal Ro-Ro 1000 GT

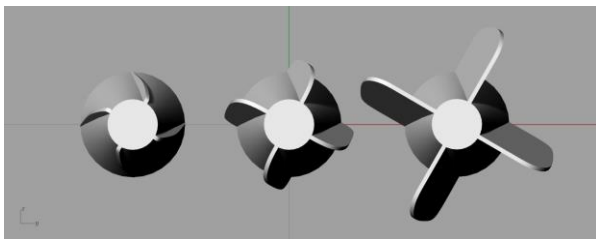
2.3. Variasi Model

Performa propeller kapal Ro-Ro 1000 GT akan dilakukan perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan *Energy Saving Device* jenis *Propeller Boss Cap Fins*. Untuk permodelan fin PBCF, dilakukan pada software berbasis 3D dan dibuat sesuai parameter berikut [4]:

- Jumlah fin atau sirip harus sama dengan jumlah daun pada propeller;

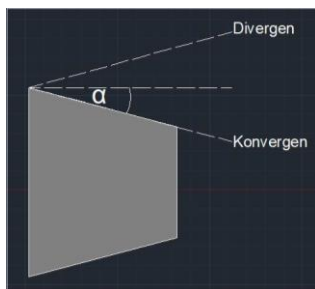
- Perbedaan fase pada cross-section dari pangkal daun propeller dengan sirip bervariasi 20°-30°;
- Diameter fin atau sirip tidak lebih dari 33% dari diameter propeller;
- Leading edge dari fin terletak dekat antara dua pangkal daun propeller.

Pada penelitian ini, akan dilakukan variasi pada diameter fin PBCF, yaitu sebesar 0,1D, 0,2D, dan 0,3D, serta modifikasi sudut cap sebesar 15°, 20° dan 25° secara konvergen, ditunjukkan pada tabel 4.

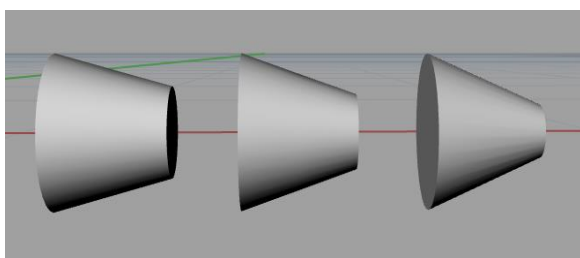


Gambar 3. Model Variasi PBCF

Pada gambar 3, ditunjukkan model variasi PBCF, secara urut dari kiri yaitu variasi dengan 0,1D, 0,2D serta 0,3D.



Gambar 4. Konvergen dan divergen



Gambar 5. Model Variasi Cap 15°, 20° dan 25°

Gambar 4 adalah gambar 2D cap secara konvergen dan divergen, yaitu semakin memusat atau melebar mengikuti besaran sudut yang ditentukan. Sedangkan untuk variasi cap, ditunjukkan pada gambar 5. Dari kiri secara berurutan yaitu cap dengan sudut 15°, 20° dan 25°.

Tabel 4. Variasi Model

No.	Variasi
-----	---------

1	Cap sudut 15°
2	Cap sudut 15° dengan PBCF 0,1D
3	Cap sudut 15° dengan PBCF 0,2D
4	Cap sudut 15° dengan PBCF 0,3D
5	Cap sudut 20°
6	Cap sudut 20° dengan PBCF 0,1D
7	Cap sudut 20° dengan PBCF 0,2D
8	Cap sudut 20° dengan PBCF 0,3D
9	Cap sudut 25°
10	Cap sudut 25° dengan PBCF 0,1D
11	Cap sudut 25° dengan PBCF 0,2D
12	Cap sudut 25° dengan PBCF 0,3D

2.4. Karakteristik Propeller

Secara umum karakteristik dari baling-baling kapal pada kondisi open water test adalah seperti yang direpresentasikan pada diagram $KT - KQ - J$. Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal, memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Sehingga kajian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak dapat digeneralised untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling-baling. Model persamaan untuk karakteristik kinerja baling-baling kapal dapat dihitung dengan persamaan : [7]

$$KT = \frac{T}{\rho \times n^2 \times D^4} \quad (1)$$

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

$$J = \frac{Va}{n \times D} \quad (3)$$

Dimana KT adalah koefisien gaya dorong baling-baling, KQ adalah koefisien torsi baling-baling dan J adalah koefisien *advanced* baling-baling. T adalah *thrust* propeller, ρ adalah massa jenis fluida, n adalah putaran propeller, D adalah diameter propeller, Q adalah *torque* propeller, dan Va adalah kecepatan *advanced*.

Sedangkan persamaan untuk menghitung efisiensi (η) dari suatu propeller pada kondisi terbuka (*open water condition*) dapat menggunakan persamaan : [8]

$$\eta = \frac{T \times Va}{2 \times \pi \times Q \times n} \quad (4)$$

Dimana η adalah efisiensi dari propeller, T adalah nilai *thrust* propeller, Va adalah kecepatan *advanced*, Q adalah nilai *torque* propeller, dan n adalah putaran propeller.

2.5. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboraturium Hidrodinamika Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro.

2.6. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

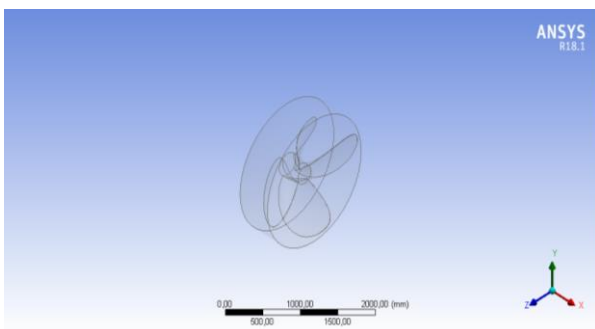
Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan cabang dari mekanika fluida dengan metode numerik dan algoritma untuk menganalisa permasalahan terkait fluida. Tujuan dari CFD untuk memprediksi secara akurat aliran fluida tersebut. *Computational Fluid Dynamics* terdiri dari 3 elemen utama, yaitu :

1. Pre Processor
2. Solver Manager
3. Post Processor

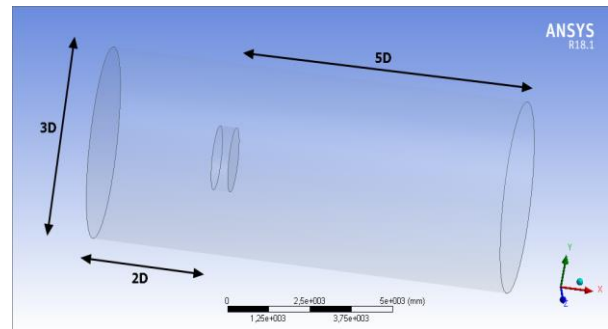
Pengujian pada software berbasis CFD menggunakan perhitungan (CFX). Terdapat beberapa langkah pada simulasi numerik ini, yaitu :

2.6.1 Tahap Geometri

Tahap geometri merupakan tahap permodelan objek untuk dilakukan analisa. Objek tersebut meliputi propeller, gambar 6, beserta kolam simulasi, gambar 7. Pada tahap geometri juga dapat mengetahui model tersebut solid atau tidak, sehingga dilakukan pemodelan ulang jika terdapat titik yang belum solid.



Gambar 6. Geometri Propeller



Gambar 7. Geometri Kolam Simulasi

Untuk *boundary* yang digunakan pada simulasi, yaitu sebesar 2D pada inlet atau aliran menuju propeller, 5D pada outlet serta 3D untuk diameter kolam.

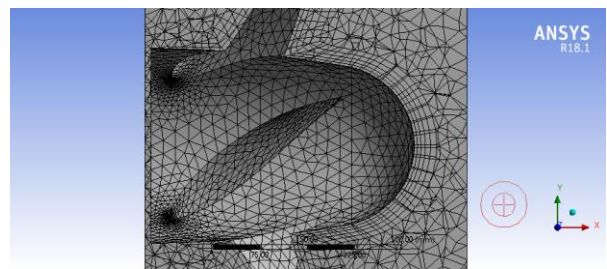
2.6.2 Tahap Mesh

Setelah *boundary condition* terbentuk, dan tiap geometri telah diberi nama, tahap selanjutnya adalah pengaturan mesh. Dalam menentukan ukuran mesh, semakin banyak elemen *meshing* yang digunakan, semakin lama waktu yang dibutuhkan dalam *running*. Serta berbeda pula nilai yang dihasilkan. Sehingga perlu dilakukan independensi grid, yaitu penambahan jumlah elemen mesh untuk mendapatkan nilai yang konstan.

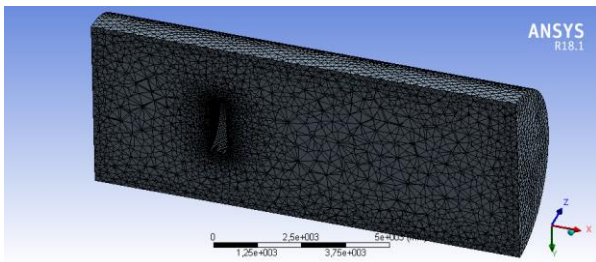
Pada tabel 5, dengan menggunakan jumlah elemen 584.039 mampu didapatkan error 1,1% dan waktu simulasi 1 jam 57 menit. Sehingga ditetapkanlah jumlah elemen yang telah independen pada 584.039 mesh. Tampilan mesh yang digunakan setelah dilakukan independensi grid ditunjukkan pada gambar 8 dan 9.

Tabel 5. Independensi Grid

Jumlah Elemen	231.634	584.039	963.791	1.284.565
KT	0,1126	0,133	0,131	0,1324
Persentase KT	-	13%	1,1%	1%
KQ	0,0181	0,0207	0,0210	0,0212
Persentase KQ	-	11%	1,3%	1,2%



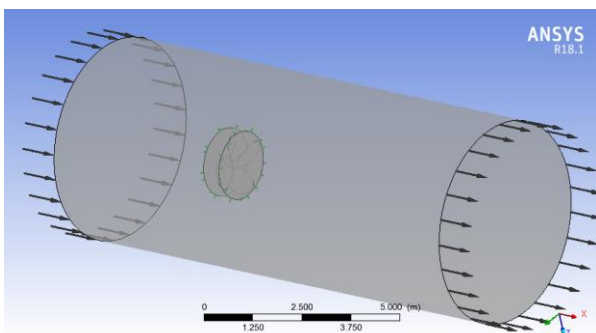
Gambar 8. Meshing Propeller



Gambar 9. Meshing Kolam Simulasi

2.6.3 Tahap Setup

Tahap *setup* merupakan tahap penting dalam proses simulasi. Pada tahap ini berisi tentang hal-hal yang berkaitan dengan jalannya simulasi, seperti penentuan sifat benda hingga fluida yang mengalir pada benda dalam *boundary*. Sehingga dalam penentuan setup harus benar, karena apabila terjadi kesalahan akan memengaruhi pada hasil simulasi. Gambar 10, setup yang digunakan pada simulasi.



Gambar 10. Tahap Setup

2.6.4 Tahap Solution

Pada tahap ini, model propeller dilakukan perhitungan *running* dari persamaan dasar dinamika fluida sesuai *setup* yang sebelumnya telah diatur hingga mendapatkan hasil yang *convergence*.

2.6.5 Tahap Result

Merupakan tahap akhir dari simulasi. Hasil simulasi dapat dilihat pada *post processor* berupa aliran fluida, serta nilai *thrust* dan *torque* akibat dari putaran propeller.

2.7 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Komputer dengan spesifikasi :

- Operating system : Windows 8.1 Pro Enterprise 64-bit
 - Processor : Intel® Core™ i3-4030U CPU @ 1.90GHz
 - Installed memory (RAM) : 8,00 GB
 - VGA : AMD Radeon™ R5 M330
2. Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah :
 - a. Software CAD Propeller
 - b. Software CAD
 - c. Software CFD
 3. Bahan yang dibutuhkan adalah data objek penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Validasi Propeller

Model propeller dilakukan validasi dengan membandingkan nilai KT dan KQ hasil simulasi pada perhitungan manual diagram *Wageningen B-Series*. Dengan nilai error untuk validasi maksimal 5% [9]. Pada umumnya, propeller B-Series mempunyai variasi nilai [10] :

- P/D = 0,5 sampai 1,4
- Z = 2 sampai 7
- Ae/Ao = 0,3 sampai 1,4

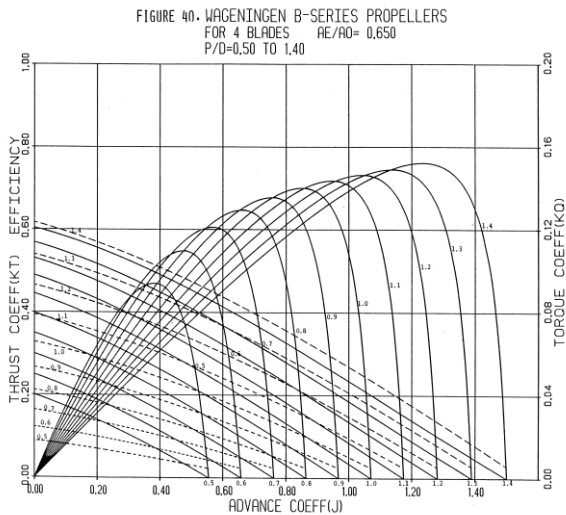
Nilai Ae/Ao propeller yang digunakan adalah 0,67. Sehingga perlu dilakukan interpolasi antara nilai Ae/Ao = 0,65 dan Ae/Ao = 0,70. Sedangkan nilai P/D = 0,85.

Perhitungan RPM Propeller (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{speed engine}}{\text{ratio gearbox}} & (5) \\
 &= \frac{2000 \text{ rpm}}{4,72} \\
 &= 423,7 \text{ rpm} \\
 &= 7,06 \text{ rps}
 \end{aligned}$$

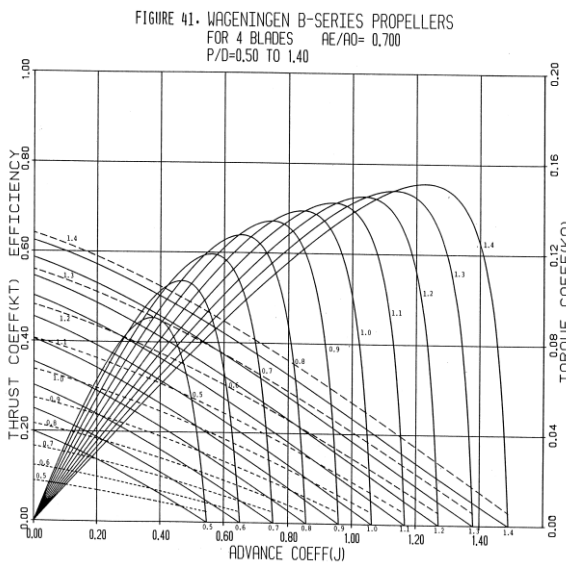
Perhitungan koefisien *advance* (J)

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{Va}{n \times D} & (3) \\
 &= \frac{7,00}{7,06 \times 1,75} \\
 &= 0,57
 \end{aligned}$$



Gambar 11. Grafik Wageningen B-Series Ae/Ao 0,650 [11]

Pada perhitungan grafik Wageningen B-Series Ae/Ao 0,650, gambar 11, didapatkan nilai $KT_{0,65} = 0,13135$, $KQ_{0,65} = 0,02063$, dan $\eta_{0,65} = 0,5864$.



Gambar 12. Grafik Wageningen B-Series Ae/Ao 0,700 [11]

Sedangkan pada grafik Wageningen B-Series Ae/Ao 0,700, gambar 12, diperoleh nilai $KT_{0,70} = 0,13235$, $KQ_{0,70} = 0,02132$, dan $\eta_{0,70} = 0,5884$. Nilai – nilai tersebut diinterpolasi untuk mendapatkan nilai KT, KQ, dan η pada Ae/Ao = 0,67.

Perhitungan interpolasi nilai KT :

$$KT_{0,67} = KT_{0,65} - \left[\left(\frac{0,7 - 0,67}{0,7 - 0,65} \right) \times (KT_{0,65} - KT_{0,7}) \right]$$

$$KT_{0,67} = 0,13135 - \left[\left(\frac{0,03}{0,05} \right) \times (0,13135 - 0,13235) \right]$$

$$KT_{0,67} = 0,13135 - [0,6 \times (-0,001)]$$

$$KT_{0,67} = 0,13135 - (-0,0006)$$

$$KT_{0,67} = 0,13195$$

Perhitungan interpolasi nilai KQ :

$$KQ_{0,67} = KQ_{0,65} - \left[\left(\frac{0,7 - 0,67}{0,7 - 0,65} \right) \times (KQ_{0,65} - KQ_{0,7}) \right]$$

$$KQ_{0,67} = 0,02063 - \left[\left(\frac{0,03}{0,05} \right) \times (0,02063 - 0,02132) \right]$$

$$KQ_{0,67} = 0,02063 - [0,6 \times (-0,00069)]$$

$$KQ_{0,67} = 0,13135 - (-0,00041)$$

$$KQ_{0,67} = 0,021044$$

Perhitungan interpolasi nilai η :

$$\eta_{0,67} = \eta_{0,65} - \left[\left(\frac{0,7 - 0,67}{0,7 - 0,65} \right) \times (\eta_{0,65} - \eta_{0,7}) \right]$$

$$\eta_{0,67} = 0,5864 - \left[\left(\frac{0,03}{0,05} \right) \times (0,5864 - 0,5884) \right]$$

$$\eta_{0,67} = 0,02063 - [0,6 \times (-0,002)]$$

$$\eta_{0,67} = 0,13135 - (-0,0012)$$

$$\eta_{0,67} = 0,5876$$

Dari hasil perhitungan interpolasi grafik Wageningen B-Series antara Ae/Ao = 0,65 dan 0,70, didapatkan nilai KT, KQ dan η seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Diagram Wageningen B-Series

Parameter	Nilai
Koefisien Advance (J)	0,57
P/D	0,85
KT	0,132
KQ	0,021
η	0,588

Pada simulasi model propeller yang telah dilakukan pada software CFD, diperoleh nilai *thrust* (T) = 63550,7 N dan *torque* (Q) = 17379,5 Nm. Untuk menentukan nilai KT dapat digunakan persamaan (1).

$$KT = \frac{T}{\rho \times n^2 \times D^4} \quad (1)$$

$$KT = \frac{63550,7}{1025 \times (7,06)^2 \times (1,75)^4}$$

$$KT = \frac{63550,7}{479391,67}$$

$$KT = 0,133$$

Sedangkan untuk menentukan nilai KQ, menggunakan persamaan (2).

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

$$KQ = \frac{17379,5}{1025 \times (7,06)^2 \times (1,75)^5}$$

$$KQ = \frac{17379,5}{838935,43}$$

$$KQ = 0,021$$

Perhitungan efisiensi menggunakan persamaan (4) :

$$\eta = \frac{T \times Va}{2 \times \pi \times Q \times n} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{63550,7 \times 7,00}{2 \times 3,14 \times 17379,5 \times 7,06}$$

$$\eta = \frac{444854,9}{770551,4156}$$

$$\eta = 0,577$$

Tabel 7. Validasi

Parameter	Hasil Perhitungan Diagram	Hasil Simulasi CFD	Error (%)
Thrust	0,132	0,133	0,5%
Torque	0,021	0,021	1,6%
Efisiensi	0,588	0,577	1,8%

Tabel 7, hasil perbandingan perhitungan diagram *Wageningen B-Series* dengan simulasi CFD. Dapat disimpulkan bahwa *setup* yang digunakan pada simulasi CFD dinyatakan akurat dengan tingkat error kurang lebih dalam rentang 0 hingga 5% [9]. Oleh karena itu, *setup* tersebut dapat digunakan dan telah valid.

3.2. Hasil Simulasi Variasi

Penelitian ini membandingkan performa model propeller dengan penambahan *Energy Saving Device (ESD)* jenis *Propeller Boss Cap Fins (PBCF)* yang dilakukan variasi pada diameter fin, sebesar 0,1D, 0,2D dan 0,3D serta sudut cap 15° dan 20°.

Gambar 13 merupakan grafik nilai *thrust* yang diperoleh dari simulasi, dengan detail nilai ditunjukkan pada tabel 8. Terlihat bahwa nilai *thrust* tertinggi pada variasi propeller dengan PBCF 0,2D dan cap 20°, yaitu sebesar 71371,7 N.

Tabel 8. Nilai *Thrust* Hasil Simulasi CFD

Propeller	Nilai Thrust (N)
Tanpa Variasi	63550,7
Cap 15°	65702,2
Cap 15° + PBCF 0,1D	68560,6
Cap 15° + PBCF 0,2D	70682,7
Cap 15° + PBCF 0,3D	65498,5
Cap 20°	67916,2
Cap 20° + PBCF 0,1D	68996
Cap 20° + PBCF 0,2D	71371,7
Cap 20° + PBCF 0,3D	67411,9
Cap 25°	66011,3
Cap 25° + PBCF 0,1D	66782
Cap 25° + PBCF 0,2D	70864,7
Cap 25° + PBCF 0,3D	66537,7

Selain itu, dari simulasi diperoleh nilai *torque* tiap variasi yang ditunjukkan pada gambar 14, dengan nilai masing-masing variasi ada pada tabel 9. *Torque* terbesar diperoleh pada propeller dengan PBCF 0,3D dan cap 25°, sebesar 19588 Nm.

Tabel 9. Nilai *Torque* Hasil Simulasi CFD

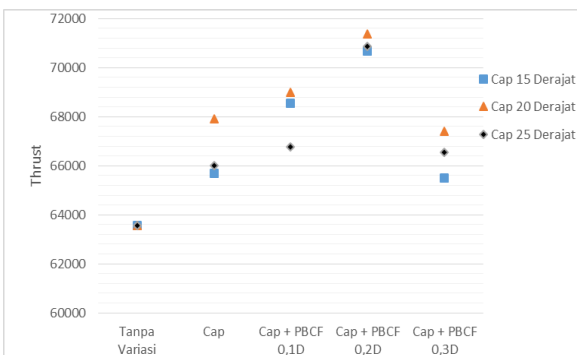
Propeller	Nilai Torque (Nm)
Tanpa Variasi	17379,5
Cap 15°	17965,2
Cap 15° + PBCF 0,1D	18709,5
Cap 15° + PBCF 0,2D	18544,9
Cap 15° + PBCF 0,3D	19395,9
Cap 20°	17912,8
Cap 20° + PBCF 0,1D	18100,2
Cap 20° + PBCF 0,2D	18580,3
Cap 20° + PBCF 0,3D	19421
Cap 25°	18163,1
Cap 25° + PBCF 0,1D	18305,5
Cap 25° + PBCF 0,2D	18519,5
Cap 25° + PBCF 0,3D	19588

Nilai efisiensi dari masing-masing variasi ditunjukkan pada gambar 15, dengan detail nilai pada tabel 10. Nilai efisiensi dipengaruhi oleh besaran nilai *thrust* dan *torque*. Dari variasi yang telah dilakukan simulasi, diperoleh efisiensi tertinggi pada propeller dengan pemasangan PBCF 0,2D dan cap 20°, yaitu meningkat sebesar 0,029. Sehingga menjadikan variasi ini sebagai variasi terbaik.

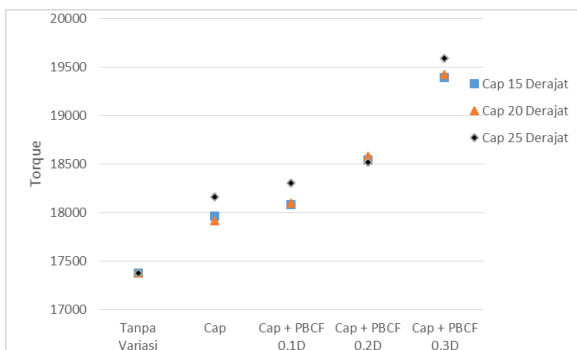
Sedangkan efisiensi terendah pada propeller dengan pemasangan PBCF 0,3D dan cap 15°, yaitu menurun sebesar 0,044 dan menjadikan variasi ini sebagai variasi terburuk.

Tabel 10. Efisiensi (η) Hasil Simulasi CFD

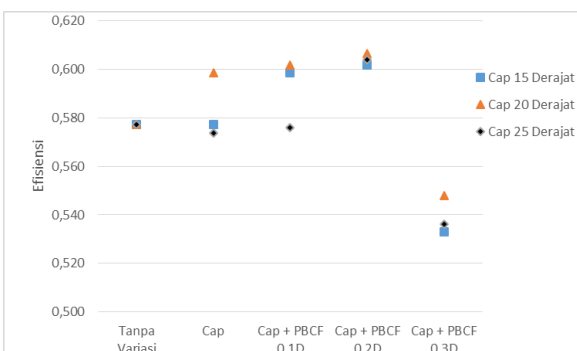
Propeller	Efisiensi (η)	Kenaikan Efisiensi
Tanpa Variasi	0,577	-
Cap 15°	0,577	0
Cap 15° + PBCF 0,1D	0,578	0,001
Cap 15° + PBCF 0,2D	0,602	0,024
Cap 15° + PBCF 0,3D	0,533	-0,044
Cap 20°	0,598	0,021
Cap 20° + PBCF 0,1D	0,602	0,025
Cap 20° + PBCF 0,2D	0,606	0,029
Cap 20° + PBCF 0,3D	0,548	-0,029
Cap 25°	0,574	-0,003
Cap 25° + PBCF 0,1D	0,576	-0,001
Cap 25° + PBCF 0,2D	0,604	0,027
Cap 25° + PBCF 0,3D	0,536	-0,041



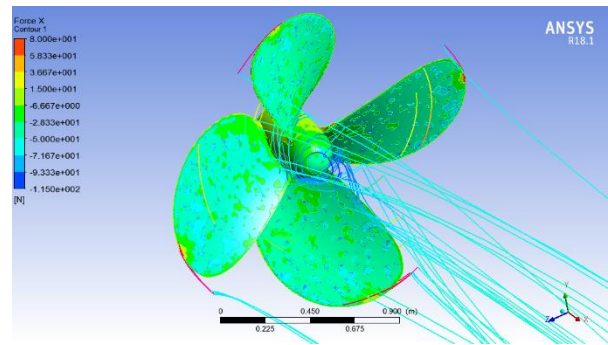
Gambar 13. Grafik Nilai Thrust Hasil Simulasi CFD



Gambar 14. Grafik Nilai Torque Hasil Simulasi CFD

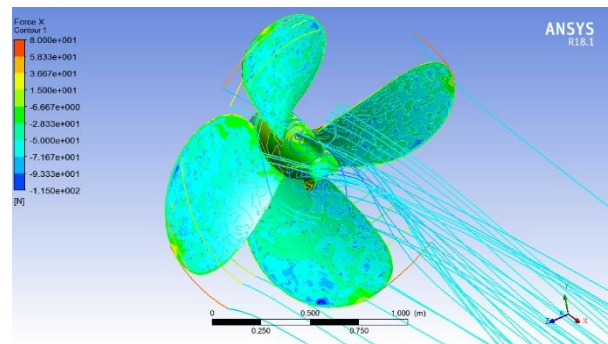


Gambar 15. Grafik Efisiensi Hasil Simulasi CFD



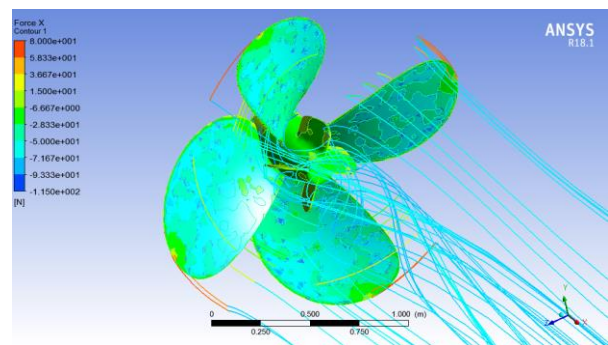
Gambar 16. Pola Aliran Propeller Tanpa Variasi

Pada gambar 16, aliran yang terbentuk masih terdapat vortex yang dihasilkan pada hub propeller. Hal ini dapat menyebabkan kavitasi pada propeller.



Gambar 17. Pola Aliran Cap 20° + PBCF 0,2D

Gambar 17, pola aliran yang terbentuk pada propeller dengan penambahan PBCF 0,2D dan cap 20°. Variasi ini merupakan variasi terbaik dibandingkan variasi lainnya. Hal ini ditunjukkan dengan nilai thrust tertinggi serta efisiensi yang dihasilkan.



Gambar 18. Pola Aliran Cap 15° + PBCF 0,3D

Variasi propeller dengan cap 15° dan PBCF 0,3D merupakan variasi yang menghasilkan performa terendah, dengan mengalami penurunan efisiensi sebesar 0,041. Hal ini disebabkan torque yang dihasilkan begitu besar dan thrust yang tidak berubah signifikan. Selain itu, pada gambar 18, juga ditunjukkan pola aliran serta persebaran gaya (*force*) yang bekerja pada propeller.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa adanya pengaruh pemasangan *Energy Saving Device* (ESD) jenis *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF) pada performa propeller. Dengan dipasangnya PBCF, dapat mempengaruhi peningkatan dan penurunan performa propeller. Diantara 12 variasi, didapatkan kombinasi terbaik pada propeller dengan dipasang PBCF diameter fin 0,2D dan sudut cap sebesar 20°. Dibuktikan dengan hasil thrust tertinggi sebesar 71371,7 N, torque 18580,3 Nm, dan peningkatan efisiensi sebesar 0,029.

Sedangkan performa terendah pada kombinasi propeller dipasang PBCF 0,3D dan sudut cap 15°, yang menghasilkan thrust sebesar 65498,5 N, torque 19395,9 Nm, dan penurunan efisiensi 0,044.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Seo, S. J. Lee, B. Han, and S. H. Rhee, "Influence of Design Parameter Variations for Propeller-Boss-Cap-Fins on Hub Vortex Reduction," *Journal of Ship Research*, vol. 60, no. 4, 2016.
- [2] I. Ichwansyah, "Analisa Peningkatan Thrust Akibat Penerapan Energy Saving Device pada Kapal Perintis 500 DWT Menggunakan Metode CFD (Computation Fluid Dynamic)," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 3, 2019.
- [3] Syafriansyah, I. M. Ariana, and B. Cahyono, "Analisa Penggunaan Propeller Boss Cap Fins (PBCF) Terhadap Pengaruh Pembebanan Daya Main Engine Dalam Upaya Mendukung Program Eco Ship PT. PERTAMINA (PERSERO) Perkapalan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [4] H. Ghassemi, A. Mardan, and A. Ardeshir, "Numerical analysis of hub effect on hydrodynamic performance of propellers with inclusion of PBCF to equalize the induced velocity," *Polish Maritime Research*, vol. 73, no. 2, 2012.
- [5] I. A. C. Abar and I. K. A. P. Utama, "Effect of the incline angle of propeller boss cap fins (PBCF) on ship propeller performance," *International Journal of Technology*, vol. 10, no. 5, 2019.
- [6] A. T. E. Kurniawan, D. Chrismianto, and G. Rindo, "Analisa Perbandingan Penggunaan Energy Saving Device (ESD) Propeller Boss Cap Fin Pada Propeller Tipe B-Series Dengan Variasi Diameter Fin Menggunakan Metode CFD," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [7] W. Rakhmadi, A. Trimulyono, and M. Iqbal, "Analisa Perbandingan Tipe Kort Nozzle Terhadap Gaya Dorong Propeller Dengan Metode Cfd," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 4, no. 1, 2016.
- [8] M. Z. Abidin, S. W. Adji, and I. S. Arief, "Analisa Performance Propeller B-Series dengan Pendekatan Structure dan Unstructure Meshing," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [9] A. Trimulyono and Kiryanto, "Analisa Efisiensi Propeller B-Series Dan Kaplan Pada Kapal Tugboat Ari 400 HP Dengan Variasi Jumlah Daun, Sudut Rake Menggunakan CFD," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 12, no. 2, 2015.
- [10] A. Paska, E. S. Hadi, and Kiryanto, "Analisa Engine Propeller Matching Pada Kapal Perintis Baru Type 200 DWT Untuk Mendapatkan Sistem Propulsi Yang Optimal," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 4, no. 3, 2016.
- [11] M. M. Bernitsas, D. Ray, and P. Kinley, "KT, KQ, and Efficiency Curves for the Wageningen B-series Propellers," Michigan, 1981.