



Optimasi *Energy Saving Device (ESD) Propeller Boss Cap Fins (PBCF)* dengan Metode *Response Surface Method (RSM)* terhadap *Propeller INSEAN E779A*

Daviensya Giovancha Anabel Malingkas¹⁾, Andi Trimulyono²⁾, Deddy Chrismianto³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

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

³⁾e-mail : daviensya@gmail.com

Abstrak

Banyak aspek yang harus diperhatikan dalam perencanaannya untuk mengoptimalkan pengoperasiannya. Salah satunya adalah perencanaan sistem penggerak, salah satunya adalah propeller. Salah satu upaya pengoptimalan propulsi kapal adalah dengan melakukan pemasangan *Energy Saving Device (ESD) Propeller Boss Cap Fins (PBCF)*. Penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan performa propeller INSEAN E779A dengan pemasangan ESD PBCF. Optimalisasi dilakukan dengan pendekatan statistik menggunakan metode *Response Surface Methodology*. Metode ini menganalisa permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon. Ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen berbantuan statistika bertujuan untuk mencari nilai optimal dari suatu respon. Dalam penelitian ini ditentukan variabel optimasinya adalah nilai *installation angle* dengan nilai awal 60 derajat serta rasio *r/R PBCF* dengan nilai awal 0.25 dan menggunakan bantuan software Minitab. Model PBCF yang optimal didapatkan dengan memperkecil rasio *r/R* ke nilai 0.179289 serta nilai tengah *installation angle PBCF* dengan nilai 52.9298. Dari penelitian ini didapatkan performa propeller optimal dengan nilai *thrust* 1000.72 kN dengan peningkatan 8% dari sebelum dilakukan pemasangan PBCF.

Kata Kunci : *Propeller, Propeller Boss Cap Fins, Response Surface Methodology*

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu moda transportasi dengan efisiensi pengangkutan yang tinggi, dalam pengoperasiannya, suatu kapal harus memiliki performa yang baik. Oleh karena itu banyak aspek-aspek yang harus diperhatikan dalam perancangannya untuk mencapai tujuan kapal berdasarkan fungsinya seperti perencanaan bagian lambung kapal, perencanaan sistem permesinan kapal, dan perencanaan alat penggerak kapal yang baik [1].

Kemampuan kapal untuk dapat bergerak bergantung kepada sistem penggerak atau propulsor yang terdiri dari tiga komponen yaitu mesin induk, sistem transmisi, dan propulsor. Terus dilakukan pengembangan performa guna mengefisienkan sistem propulsi termasuk dengan perencanaan desain propeller. Propeller merupakan bentuk alat penggerak kapal yang paling umum

digunakan dalam menggerakkan kapal [2]. Propeller memindahkan tenaga dengan cara merubah gaya putar dari baling-baling menjadi daya dorong untuk menggerakkan badan kapal dengan perantara massa air dengan memutar bilah-bilah yang bersumbu pada poros.

Umumnya kapal telah di desain dengan kecepatan dan sistem propulsi tertentu sehingga apabila adanya keinginan untuk perubhana kecepatan yang relative tinggi maka upaya yang dilakukan adalah *repowering*. Tapi, upaya *repowering* cenderung lebih mahal. Maka alternatif lainnya adalah meningkatkan gaya dorong propeller.

Salah satu upaya pengoptimalan propulsi kapal adalah dengan melakukan modifikasi desain baling-baling. Pada penelitian ini, penulis akan melakukan penelitian terhadap propeller INSEAN E779a dan mengoptimalkan kerja propellernya

dengan melakukan pemasangan *Energy Saving Device* (ESD) yang sesuai namanya dirancang untuk menerapkan efisiensi penggunaan energi dengan menerapkan efisiensi aliran baling-baling sehingga mampu mengurangi konsumsi bahan bakar pada kapal. *Energy Saving Device* (ESD) mampu memperkecil *loss energy* yang disebabkan oleh kinerja propeller. Dengan demikian performa kapal dapat ditingkatkan seiring efisiensi bahan bakar yang optimal [3].

PBCF terdiri dari beberapa sirip yang terpasang pada ujung boss propeller dengan sudut masuk tertentu. Pemasangannya dengan yang terbilang mudah dan murah hanya dengan mengganti ujung boss. Pengurangan *hub vortex* yang berhubungan dengan tekanan penghisap yang bekerja di ujung boss propeller bukan satu-satunya cara meningkatkan efisiensi. Pemberian torsi negatif pada axis propeller dan memberi pengaruh pada peningkatan *thrust* yang diberikan daun juga merupakan cara lain *PBCF* memungkinkan penghematan energi, Aliran yang timbul di *hub* propeller selaras dengan aliran di daun propeller sehingga mengembalikan *rotational energy* yang hilang serta mengurangi kavitasi [4].

Analisis numerik memungkinkan identifikasi di dua aspek yaitu penurunan *hub drag* dan torsi dan peningkatan gaya dorong daun adalah alasan peningkatan efisiensi meski adanya sedikit kenaikan bada torsi baling baling dan munculnya *additional drag* dari daun *PBCF* [5].

Konfigurasi optimal tercapai Ketika *span*, *chord*, and *pitch angle* secara akurat mengimbangi peningkatan *drag* dari daun *PBCF* dengan penurunan *hub vortex* yang cukup juga.

Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam penggunaan *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* tidak lebih dari 33% dari diameter propeller, dan *leading edge* dari *fin* terletak dekat antara dua pangkal daun propeller [6].

Ouchi et al menganalisis pengaruh parameter desain *PBCF* dengan efisiensi baling baling dari uji ekperimental dan analisis CFD menyarankan 6 parameter desain *PBCF* [7]:

- Bentuk sirip
- r/R
- Posisi pemasangan ke tutup tepi depan sirip
- Sudut pemasangan sirip
- Jumlah sirip
- Kemiringan sirip

Ouchi dkk melaporkan bahwa parameter desain yang paling penting adalah sudut pemasangan sirip, konfigurasi dari sirip dan sudut

kemiringan sirip. Sedangkan penelitian Mizzi dkk menunjukkan bahwa parameter r/R adalah yang paling mungkin mempengaruhi efisiensi baling-baling daripada parameter desain lainnya [8].

Oleh karena itu, penulis ingin melakukan penelitian untuk mendapatkan performa optimal dengan pengaruh variabel sudut pemasangan sirip dan rasio r/R *PBCF* dengan metode optimasi *Response Surface Method*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *Energy Saving Device* jenis *PBCF* terhadap performa *advanced speed* propeller. Manfaat dari penelitian yang dilakukan yaitu dapat menjadi referensi tentang pengaruh pemasangan *Energy Saving Device* bagi penelitian selanjutnya.

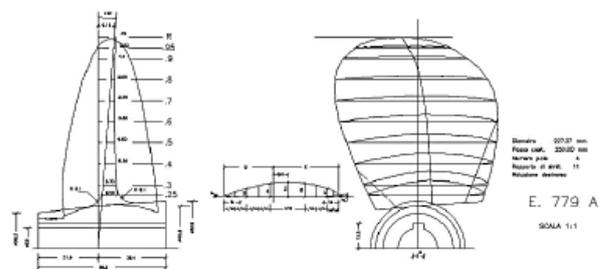
2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Pada penelitian ini, objek yang digunakan adalah propeller INSEAN E779A. Tabel 1 berisi data ukuran utama dari Propeller INSEAN E779A dan Gambar 1 merupakan gambar dari Propeller INSEAN E779A.

Tabel 1. *Main Dimension* Propeller

Jenis Propeller	INSEAN E779A
Diameter	227.27 mm
Pitch	250
Jumlah <i>Blade</i>	4 blades
A_e/A_o	0,689



Gambar 1. Propeller INSEAN E779A [9].

Kecepatan perputaran yang digunakan adalah 36 RPS dan kecepatan di inlet adalah 5.808 m/s mengacu pada penelitian tersebut terhadap propeller terkait dalam jurnal sebagai validasi [9].

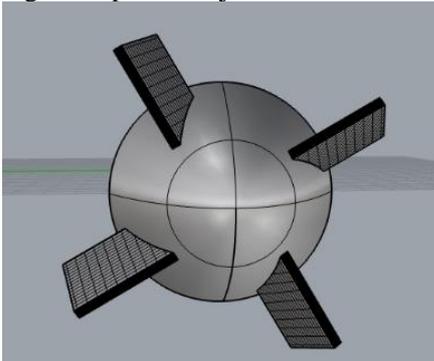
2.2. Desain PBCF

Performa propeller INSEAN E779A 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 [10]:

- 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 seperti pada Gambar 2 dengan sudut pemasangan sirip dan sudut kemiringan sirip dengan model awal di perbandingan $r/R = 0,25$ dan sudut pemasangan sirip 60 derajat.



Gambar 2. Model Variasi PBCF Basis

2.3. Alat, Bahan, dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Komputer dengan spesifikasi :
 - a. Operating sistem : Windows 10 Pro Enterprise 64-bit
 - b. Processor : Intel® Core™ i5-2520M CPU @2.50GHz
 - c. Installed memory (RAM) : 8,00 GB

Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. *Software Computer Aided Design*
 - b. *Software Computational Fluid Dynamic*
 - c. *Software Minitab Trial Version*
- 2) Bahan yang dibutuhkan adalah data objek penelitian

2.4. Numerical Modelling

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang mekanika fluida dengan metode numerik dan algoritma untuk menganalisa permasalahan terkait fluida. Tujuan dari CFD untuk memprediksi secara akurat aliran fluida tersebut.

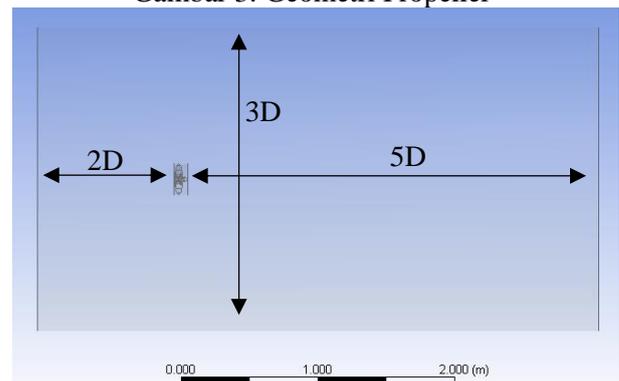
Pengujian pada software berbasis CFD menggunakan perhitungan (CFX). Terdapat beberapa langkah pada simulasi numerik ini, yaitu:

1) Permodelan geometri dan kolam

Pada tahap ini dilakukan tahapan permodelan geometri objek propeller yang terlihat pada Gambar 3 yang akan dianalisa, meliputi baling baling dan kolam simulasi yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Geometri Propeller

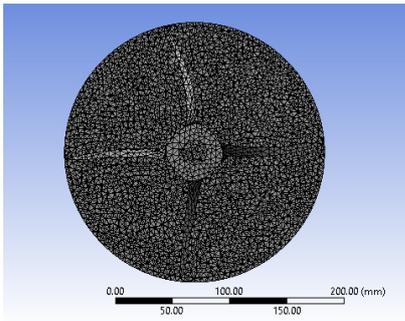


Gambar 4. Boundary Condition

2) Meshing

Setelah pembentukan geometri objek dan kondisi batas serta penamaan pada tiap geometri dilakukan pengaturan *mesh*. Semakin banyak elemen *mesh*, semakin banyak juga waktu yang dibutuhkan untuk mengkomputasi hasil serta mungkin berbeda pula nilai yang dihasilkan. Sehingga perlu dilakukan independensi grid, yaitu penambahan jumlah elemen mesh untuk mendapatkan nilai yang konstan.

Karena tidak mampu didapatkan selisih kurang dari 2% pada Tabel 2, maka simulasi akan dilakukan dengan settingan mesh tertinggi seperti yang terlihat pada Gambar 5 dengan jumlah elemen 326705 dengan waktu simulasi 2 Menit 20 Detik.



Gambar 5. Meshing Propeller
Tabel 2. Independence Grid

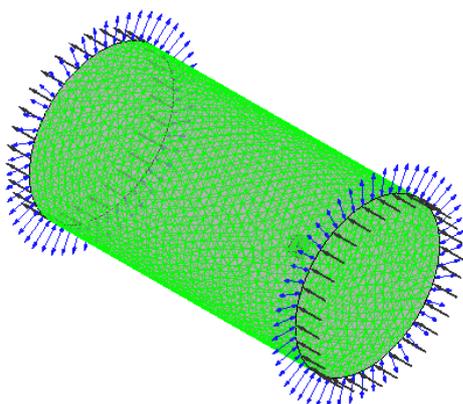
Statistik	Coarse	Medium	High
Jumlah Element	189114	209743	326705
Jumlah Nodes	36479	40963	62933
KT	0.31	0.31	0.27
% Selisih	0	0.38%	12.25%

3) Setup

Pada tahap ini diatur penentuan sifat benda dan fluida serta aliran yang berkaitan dengan simulasi. Tabel 3 berisi pengaturan batasan kolom simulasi dan Gambar 6 menunjukkan daerah batasan tersebut.

Tabel 3. Pengaturan domain physics

No	Pengaturan	Keterangan
1.	Domain	Default Domain
2.	Type	Fluid
3.	Location	B669
4.	Materials	Water
5.	Fluid Definition	Material library
6.	Morphology	Continous fluid
7.	Bouyancy model	Non bouyant
8.	Domain motion	Stationary
9.	Reference pressure	1 [atm]
10.	Heat transfer model	Isothermal
11.	Fluid temperature	2.5000 ^e +01 [C]
12.	Turbulence model	K Epsilon
13.	Turbulence wall functions	Scalable

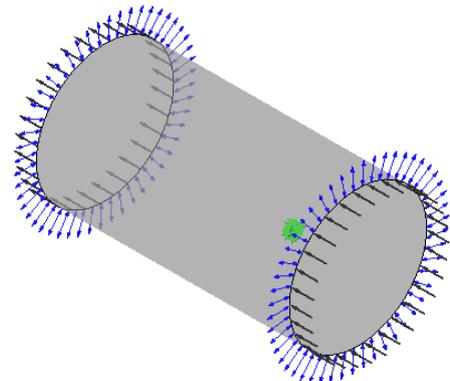


Gambar 6. Visualisasi Boundary Domain

Sedangkan Tabel 4 merupakan pengaturan domain *propeller* yang berputar atau rotor dan Gambar 7 menunjukkan daerah nya.

Tabel 4. Pengaturan domain rotor

No	Pengaturan	Keterangan
1.	Domain	rotor
2.	Type	Solid
3.	Location	B332
4.	Materials	Alumunium
5.	Solid Definition	Material library
6.	Morphology	Continous Solid
8.	Domain motion	Rotating
9.	Angular velocity	36 [rev s ⁻¹]
10.	Coordinate axis	Global X
11.	Reference pressure	1 [atm]
12.	Turbulence model	K Epsilon
13.	Turbulence wall functions	Scalable

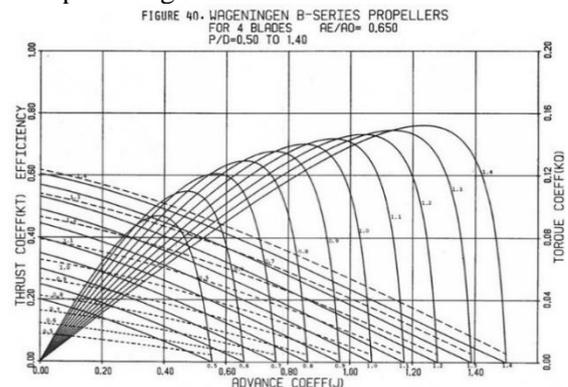


Gambar 7. Visualisasi Rotor Domain

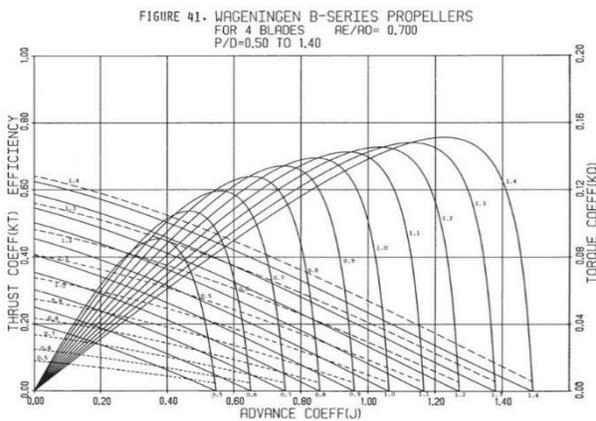
2.5. Validasi Model

Pada penelitian ini, validasi model propeller INSEAN E779A dilakukan mengacu pada jurnal EURECA dan hasil *Workshop VIRTUE 2008* di Roma dan diagram Wageningen pada Gambar 8 dan Gambar 9 dengan membandingkan nilai KT dan KQ [11].

Nilai Ae/Ao propeller yang digunakan adalah 0,67 sehingga perlu dilakukan interpolasi dengan. Sedangkan nilai P/D = 1,1. Data yang diperlukan untuk perhitungan ada di Tabel 5.



Gambar 8. Grafik Wageningen B-Series Ae/Ao 0,650 [12].



Gambar 9. Grafik Wageningen B-Series Ae/Ao 0,700 [12].

Perhitungan koefisien advance (J)

$$J = \frac{v_a}{n \times D} = 0,71 \quad (1)$$

Tabel 5. Data Propeller untuk Validasi

Data	
D	227 mm
J	0.71
ρ	1025 kg/m ³
n	36
Ae/Ao	0.6789
P/D	1.1
Va	5.65 m/s

Perhitungan nilai KT

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

Perhitungan nilai KQ

$$KQ = \frac{Q}{\rho \times n^2 \times D^5} \quad (3)$$

Tabel 6. Perhitungan Error Validasi

Nilai	CFD	Diagram	Error
KT	0.269	0.256	8%
KQ*10	0.535	0.464	15%

Dari hasil perbandingan pada Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa *setup* yang digunakan pada simulasi CFD dinyatakan akurat dengan tingkat error $\pm 0 - 5\%$ [13]. Oleh karena itu, *setup* tersebut dapat digunakan dan telah valid.

2.6. Penggunaan Response Surface Methodology untuk Pencarian Model Optimal

Response Surface Methodology (RSM) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisa permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon [14]. Ide metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen berbantuan statistika untuk mencari nilai optimal dari suatu respon.

Diawali dengan pembuatan kode dari dua variasi awal X_1 sebagai variasi *installation angle* dan X_2 sebagai variasi ratio r/R . Nilai awal merupakan hipotesa awal nilai X_1 dan X_2 yang paling maksimal berdasarkan penelitian pendukung. Untuk pemasangan PBCF pada INSEAN E779A, hipotesa awal didapatkan bahwa ukuran yang akan mendapatkan hasil maksimal ada di nilai X_{10} dan X_{20} berikut pada Tabel 7.

Tabel 7. Ukuran Variasi Awal

X_1	<i>Inst. Angle</i>	=	60
X_2	r/R	=	0.25

2.6.1. Design of Experiment

Kemudian dilakukan pengkodean untuk variasi awal guna pemilihan variabel input atau *Design of Experiment (DOE)*. Pada tahap ini, menggunakan aplikasi Minitab *Trial Version*, dilakukan input variabel dan nilai awal dari variabel yang kemudian menghasilkan DOE yang tertera pada Tabel 8. Dari data DOE berikut kemudian dilakukan *modeling* sesuai variasi variabel pada DOE.

Tabel 8. Design Of Experiment

Std Order	RunOrder	PtType	Inst Angle	r/R
8	1	-1	60	0.320711
11	2	0	60	0.25
13	3	0	60	0.25
7	4	-1	60	0.179289
3	5	1	55	0.3
12	6	0	60	0.25
9	7	0	60	0.25
4	8	1	65	0.3
1	9	1	55	0.2
5	10	-1	52.9298	0.25
10	11	0	60	0.25
2	12	1	65	0.2
6	13	-1	67.0711	0.25

Dari data yang didapatkan tersebut menjadi acuan dalam ukuran PBCF yang baru yang tertera pada Tabel 9 untuk di simulasikan.

Tabel 9. Ukuran PBCF

Model	r PBCF	inst. Angle
A	28.375	60
B	22.7	55
C	34.05	55
D	22.7	65
E	34.5	65
F	28.375	52.92893
G	20.344934	60
H	36.4066	60
I	28.375	67.07107

2.6.2. Response Surface Regression

Dalam penelitian ini, optimasi menggunakan RSM dilakukan menggunakan aplikasi *Minitab*. Perhitungan Optimasi menggunakan RSM biasanya menggunakan regresi linear dengan tiga tahapan:

1. First Order

Merupakan salah satu tahap dari pemilihan variabel input yang akan mempengaruhi respon. dari perhitungan orde I ini akan kita dapatkan persamaan untuk menentukan langkah awal dari *Steepest Descent*.

2. Steepest Descent

Tahap penurunan maksimal pada nilai taksir respon dengan tujuan mencari daerah nilai yang baru dari *input variabel* yang diinginkan.

3. Second Order

Adalah tahap penentuan model baru serta mencari nilai variabel yang baru.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Simulasi CFD

Penelitian ini dilakukan guna mendapatkan kinerja propeller INSEAN E779A yang maksimal dengan pemasangan PBCF. Hal ini dilakukan dengan melakukan variasi pada *installation angle* PBCF serta variasi rasio r/R PBCF terhadap propeller INSEAN E779A.

Tiga belas variasi kombinasi yang didapatkan dari pengkodean variable pada tahapan *Design Of Experiment*, dilakukan simulasi pada ketigabelas model variasi tersebut pada *software Computational Fluid Dynamics* untuk mendapatkan nilai yang dibutuhkan guna melanjutkan penelitian pada tahap selanjutnya yaitu optimasi menggunakan regresi dengan metode *Response Surface Methodology*. Tabel 10 dan 11 berisi hasil simulasi dari ketigabelas model

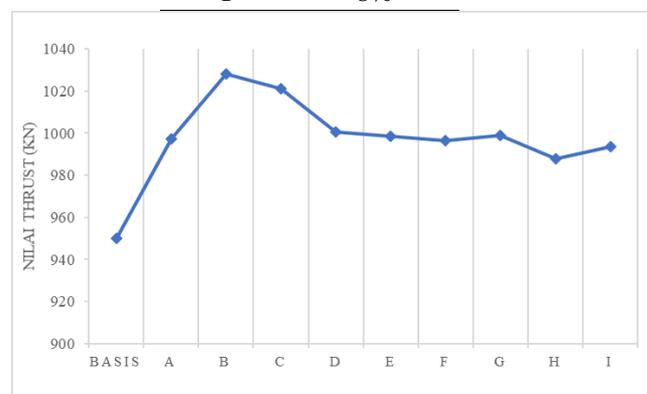
variasi tersebut. Saat melakukan simulasi *CFD* digunakan aliran turbulen yang dalam memodelkannya menggunakan pendekatan RANS (*Reynolds Averaged Navier Stokes*) dengan model *k-epsilon* yang diperuntukan untuk simulasi fluida di daerah *Free Stream Velocity* tanpa gangguan dasar laut.

Tabel 10. Nilai Hasil Simulasi CFD

Model	Thrust (kN)	Torque (Nm)
Tanpa Variasi	950.012	42.851
A	997.506	49.3311
B	1028	52.0672
C	1021	53.0237
D	1000.59	49.4366
E	998.669	49.2326
F	996.383	49.4733
G	998.878	49.48
H	987.724	49.7083
I	993.695	49.3946

Tabel 11. Kenaikan Nilai Simulasi terhadap Propeller Basis

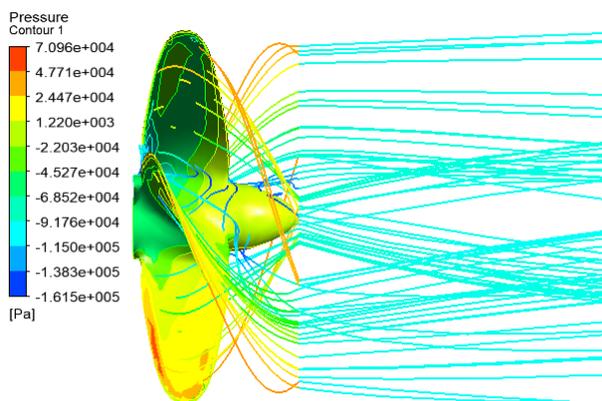
Model	Kenaikan Thrust
Tanpa Variasi	5%
A	8%
B	7%
C	5%
D	5%
E	5%
F	5%
G	4%
H	5%
I	8%



Gambar 10. Grafik Nilai Thrust Hasil Simulasi CFD

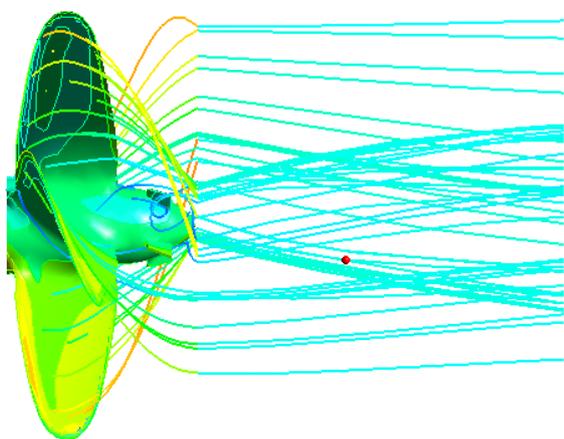
Dari Tabel 11 dan grafik pada Gambar 10 dapat dilihat perbedaan performa propeller setelah dilakukan pemasangan ESD PBCF. Dengan rata-rata kenaikan *thrust* sebesar 5% dari nilai *thrust* pada propeller awal.

Bentuk pola aliran yang dihasilkan pada simulasi propeller INSEAN E779A yang belum dipasang PBCF dapat dilihat dari Gambar 11. Terlihat terbentuknya *hub vortex* yang terletak dekat dari ujung propeller sehingga berpengaruh pada nilai *thrust* karena menambah *hub drag* propeller serta adanya area bertekanan rendah di bos propeller.



Gambar 11. Pola Aliran Propeller Tanpa Variasi

Sedangkan bentuk aliran Propeller INSEAN E779A yang sudah diberikan ESD PBCF terlihat memiliki sedikit perbedaan, terutama di bagian ujung propeller. Pemasangan ESD PBCF terlihat berpengaruh pada pola aliran dengan adanya reduksi terjadinya *hub vortex* sehingga juga turut mereduksi *hub drag*. Konsekuensinya adalah *drag* yang disebabkan oleh sirip yang tiba-tiba meningkat dengan peningkatan *advance coefficient* (seperti *angle of attack*), membatalkan efek positif pada *hub drag* dan *thrust* tambahan yang disediakan oleh bilah yang terkena pengaruh PBCF.



Gambar 12. Salah Satu Variasi Pola Aliran Propeller

Dapat dilihat dari Gambar 12 bahwa pusaran ujung baling-baling (*tip vortex*) dan *wake* aliran propeller INSEAN E779A yang dipasang ESD PBCF terpengaruh oleh keberadaan PBCF. Daerah aliran lambat yang mengelilingi sirip, dibatasi dalam radius PBCF, dapat diamati dan dapat dianggap sebagai alasan peningkatan *angle of attack* untuk bilah baling-baling.

Pemulihan kecepatan jauh dari tutup bos propeller namun tetap cukup cepat. Menurut penelitian Gaggero hal ini disebabkan oleh kehadiran *hub vortex* dapat diidentifikasi dari pusaran negatif di pusat poros, yang hampir sepenuhnya dicegah oleh sirip PBCF [9]. *Vortex* yang terpisah lebih jelas, dengan ujung *vortex* yang berasal dari ujung sirip memiliki kekuatan yang berlawanan dengan yang berasal dari bilah dan *vortex* positif pada poros yang merupakan bukti reduksi pusaran hub.

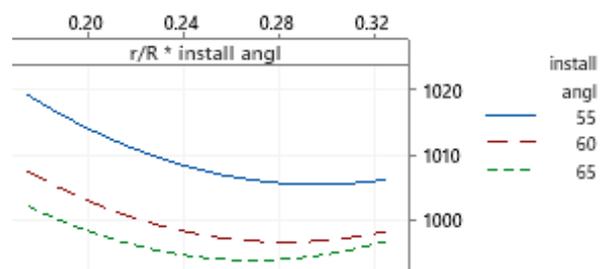
3.2. Hasil Optimasi dengan RSM

Data hasil perhitungan simulasi CFD kemudian dimasukkan kembali pada aplikasi *Minitab* dan kemudian dimulai proses optimasi menggunakan *Response Surface Method*.

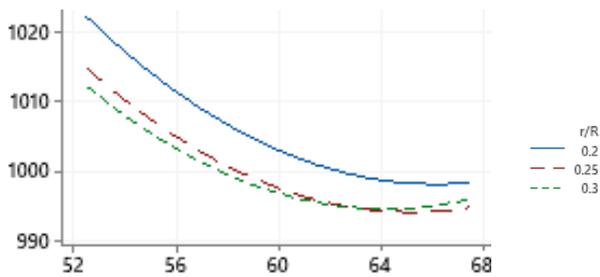
Dengan langkah awal *input* variabel yang kemudian menghasilkan DOE. Pada penelitian ini variabel X_1 *installation angle* dan X_2 adalah rasio r/R . Data dari DOE yang dihasilkan kemudian menjadi model awal untuk data optimasi. Setelah data hasil *running* di CFD telah diinput, kemudian di Analisa pengaruhnya terhadap variabel yang diinginkan serta persamaan regressinya.

$$\text{thrust} = 1695 - 18.2 X_1 - 841 X_2 + 0.130 X_1^2 + 948 X_2^2 + 5.1 X_1 X_2$$

Selain itu juga didapatkan pengaruh tiap variabel pengubah terhadap variabel target optimasi: *thrust*. Terhadap variabel target *Thrust* dapat dicapai nilai maksimal apabila kedua variabel *installation angle* dan r/R semakin kecil nilainya. Kesimpulan ini juga dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14 sebagai grafik pengaruh variabel variasi terhadap variabel respon.



Gambar 13. Pengaruh Variabel *Installation Angle* terhadap Variabel *Thrust*



Gambar 14. Pengaruh Variabel ratio r/R terhadap Variabel *Thrust*

3.3. Hasil Simulasi Variasi Optimal

Setelah diproses dalam aplikasi *Minitab*, didapatkan ukuran optimal PBCF sebagai hasil dari perhitungan optimasi menggunakan RSM pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Optimasi di *Minitab*

Variabel	Nilai
<i>inst. Angle</i>	52.9298
r/R	0.179289
<i>Thrust</i>	1025.10 kN

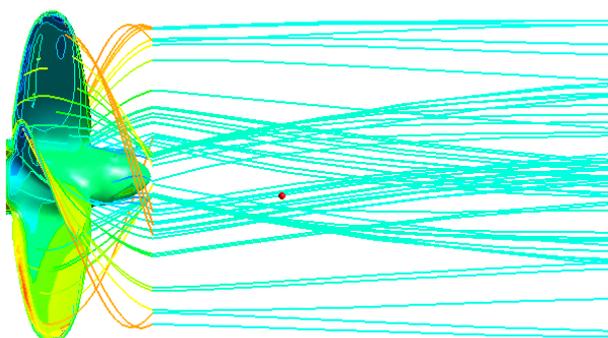
Ukuran model variasi optimal kemudian di design di aplikasi *Rhinoceros 5.0* dan kemudian dilakukan simulasi perhitungan CFD dengan kondisi yang sama. Tabel 13 berisi perbandingan dari hasil simulasi tersebut serta presentases selisihnya pada Tabel 14.

Tabel 13. Perbandingan Hasil

Nilai	Thrust (kN)
BASIS	950.012
<i>Minitab</i>	1025.1
CFD	1000.72

Tabel 14. Presentase Selisih Hasil

Selisih	Presentase
Basis - <i>Minitab</i>	8%
Basis - CFD	5%
<i>Minitab</i> - CFD	2%



Gambar 15. Pola Aliran Propeller Optimal

Dapat dilihat dari hasil simulasi dan pola aliran propeller INSEAN E779A yang telah dipasang ESD PBCF dengan ukuran optimal pada Gambar 15 bahwa mitigasi *hub vortex* yang disebabkan oleh PBCF merupakan salah satu alasan penting, tapi tidak satu-satunya. Reduksi *hub drag* yang disebabkan oleh hilangnya area bertekanan rendah di tutup bos propeller juga merupakan salah satu alasan. Sehingga, performa optimal propeller yang dipasang PBCF merupakan kombinasi dari beberapa variabel.

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan PBCF dengan kombinasi variasi dua variabel *installation angle* dan r/R mempengaruhi performa propeller INSEAN E779A. Hal ini dapat ditinjau dari adanya perubahan bentuk aliran pada hub propeller. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, pemasangan PBCF mampu mereduksi terjadinya *hub vortex* pada aliran di *hub propeller* sehingga dapat meningkatkan performa propeller [5]. Namun, hasil simulasi yang terlihat seperti tidak konsisten pada satu tren menunjukkan bahwa nilai variabel desain PBCF yang sesuai pedoman tertentu kadang tidak lebih optimal daripada kombinasi variasi variabel yang lebih fleksibel.

Penggunaan metode RSM untuk mendapatkan kombinasi variabel optimal tersebut menghasilkan ukuran optimal pada Tabel 8 dan dibuktikan pada Tabel 9 dengan adanya peningkatan *thrust* sebesar 5%.

Penelitian ini masih dapat dikembangkan lebih dalam lagi dengan meninjau lebih banyak macam aspek pada kondisi dan desain simulasi guna mencapai hasil yang lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Molland, "The maritime engineering reference book: a guide to ship design, construction and operation," *Elsevier Sci. Ltd*, 2011.
- [2] I. P. M. Bayu Ade Mahaputra, Ahmad Fauza Zakki, "Analisis Pengaruh Konfigurasi Perubahan Sudut Rake Propeller B5-80 Terhadap Fatigue Life pada Kapal Kontainer 3600 TEUs," *Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 301–311, 2020.
- [3] J. H. De Jong, "A Framework for Energy Saving Device (ESD) Decision Making," *Int. Conf. Sh. Effic.*, 2011, [Online]. Available: <https://www.stg-online.org/onTEAM/shipefficiency/progra>

- mm/06-de-Jong_Marin.pdf.
- [4] I. Ichwansyah, "Analisa Peningkatan Thrust Akibat Penerapan Energy Saving Device pada Kapal Perintis 500 DWT Menggunakan Metode CFD (COMPUTATION FLUID DYNAMIC)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 3, 2019.
- [5] S. Gaggero, "Design of PBCF energy saving devices using optimization strategies: A step towards a complete viscous design approach," *Ocean Eng.*, vol. 159, no. February 2017, pp. 517–538, 2018, doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.01.003.
- [6] 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 Marit. Res.*, vol. 19, no. 2, pp. 17–24, 2012, doi: 10.2478/v10012-012-0010-x.
- [7] C. Ma, H. Cai, Z. Qian, and K. Chen, "The design of propeller and propeller boss cap fins (PBCF) by an integrative method," *J. Hydrodyn.*, vol. 26, no. 4, pp. 586–593, 2014, doi: 10.1016/S1001-6058(14)60066-4.
- [8] K. Mizzi, Y. K. Demirel, C. Banks, O. Turan, P. Kaklis, and M. Atlar, "Design optimisation of Propeller Boss Cap Fins for enhanced propeller performance," *Applied Ocean Research*, vol. 62, pp. 210–222, 2017, doi: 10.1016/j.apor.2016.12.006.
- [9] G. Staiano, A. Gloria, G. Ausanio, A. Lanzotti, C. Pensa, and M. Martorelli, "Experimental study on hydrodynamic performances of naval propellers to adopt new additive manufacturing processes," *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–14, Feb. 2018, doi: 10.1007/s12008-016-0344-1.
- [10] 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," *Int. J. Technol.*, vol. 10, no. 5, pp. 1056–1064, 2019, doi: 10.14716/ijtech.v10i5.2256.
- [11] M. Abdou and A. S. M. Al-Obaidi, "Studying the effect of pitch ratio on sheet cavitation in marine propellers," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 13, no. Special Issue on the eighth eureka 2017, pp. 28–38, 2018.
- [12] M. M. Bernitsas, D. Ray, and P. Kinley, "Wageningen B-Series," *Kt, Kq and Efficiency curves for the wageningen B-series Propellers*. p. 102, 1981, [Online]. Available: <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/ha>
- ndle/2027.42/91702/Publication_No_237.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [13] 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," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, pp. 112–120, 2015.
- [14] M. Response and S. Methode, "Optimalisasi Curve Linesplan Haluan Kapal Perintis 750 Dwt Menggunakan Response Surface Methode (Rsm) Untuk Mengurangi Hambatan," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 810–818, 2017.