

## Analisis Numerik Performa Propulsi Kapal Ikan guna Meningkatkan Efisiensi dan Gaya Dorong Menggunakan Pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Tegar Oki Prasdika<sup>\*1</sup>, Aldias Bahatmaka<sup>2</sup>, Kriswanto<sup>3</sup>, Febri Budi Darsono<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Email: <sup>1</sup>[tegarokiprasdika11@students.unnes.ac.id](mailto:tegarokiprasdika11@students.unnes.ac.id), <sup>2</sup>[aldiasbahatmaka@mail.unnes.ac.id](mailto:aldiasbahatmaka@mail.unnes.ac.id),  
<sup>3</sup>[kriswanto@mail.unnes.ac.id](mailto:kriswanto@mail.unnes.ac.id), <sup>4</sup>[febribudi@mail.unnes.ac.id](mailto:febribudi@mail.unnes.ac.id)

### Abstrak

Indonesia merupakan negara maritim dengan sumber daya perikanan yang melimpah, menghadapi berbagai permasalahan dalam sektor perikanan, khususnya terkait dengan kapal ikan. Beberapa masalah utama termasuk mematuhi regulasi, menggunakan kapal dengan teknologi yang tidak memadai, dan praktik penangkapan ikan yang merusak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai torsi dan gaya dorong yang dihasilkan dari baling-baling kapal ikan dalam meningkatkan efisiensi kapal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) menghitung dan mensimulasikan pengaruh gaya dorong dan torsi pada baling-baling terhadap sudut kemiringan poros 0°, 30°, 50°, dan 60°. Sebelum melakukan simulasi, proses validasi telah dilakukan dengan nilai error di bawah 5% dalam kondisi lurus tanpa kemiringan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa baling-baling dengan posisi kemiringan 50° memiliki nilai gaya dorong dan torsi yang optimal dengan nilai gaya dorong 55809 N dan torsinya adalah 72111,5 Nm. Hal ini hasil analisis tersebut pada Propeller kapal ikan dapat berdampak besar pada kesejahteraan nelayan, keberlanjutan lingkungan, dan efisiensi operasional. Desain Propeller yang lebih efisien, hambatan hidrodinamis yang lebih rendah, dan efisiensi bahan bakar dapat dicapai melalui hasil simulasi CFD yang optimal.

**Kata kunci:** *Computational Fluid Dynamics, Propeller, Sudut Kemiringan, Thrust, Torque.*

### *Numerical Analysis of Fish Vessel Propulsion Performance to Improve Efficiency and Thrust Using CFD (Computational Fluid Dynamics) Approach*

#### Abstract

Indonesia, a maritime country with abundant fisheries resources, faces various problems in the fisheries sector, particularly related to fishing vessels. Some of the main problems include complying and adhering to regulations, using vessels with inadequate technology, and environmentally destructive fishing practices. This research aims to calculate the value of torque and thrust generated from the Propeller of a fishing boat in improving the efficiency of the vessel. The method used in this research is CFD (*Computational Fluid Dynamics*) approach to calculate and simulate the effect of thrust on the propeller against shaft inclination angles of 0°, 30°, 50°, and 60°. The results of this study show that the propeller with a tilt position of 50° has different thrust and torque values. In the simulation with a tilt angle of 60°, the thrust force value is 55809 N, and the torque is 7211.15 Nm, while the thrust force value is 54582.4 N, and the torque is 6193.81 Nm. This analysis on fishing boat propellers can have a major impact on fishermen's welfare, environmental sustainability, and operational efficiency. More efficient propeller design, lower hydrodynamic drag, and fuel efficiency can be achieved through optimized CFD simulation results.

**Keywords:** *Angle of Inclination, Computational Fluid Dynamics, Propeller, Thrust, Torque.*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim yang sebagian besar wilayah Indonesia adalah laut, menjadikannya negara maritim [1]. Penggunaan bahan bakar dalam operasional kapal ikan tradisional merupakan salah satu masalah utama dari masalah ini. Rendahnya selisih antara hasil tangkapan ikan yang diperoleh dan biaya operasional penangkapan ikan adalah salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh nelayan tradisional [2]. Teknologi propulsi kapal ikan ini dapat dalam meningkatkan efisiensi operasional, keberlanjutan lingkungan, serta

kesejahteraan nelayan. Teknologi propulsi kapal ikan ini dapat meningkatkan efisiensi operasional, keberlanjutan lingkungan, serta kesejahteraan nelayan. Perekonomian dan ketahanan pangan sangat dipengaruhi oleh sektor perikanan, terutama bagi komunitas nelayan yang bergantung pada hasil laut sebagai sumber mata pencaharian para nelayan [3]. Namun, salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh nelayan adalah tingginya biaya operasional, di mana konsumsi bahan bakar kapal menjadi komponen terbesar dalam pengeluaran. Tingkat konsumsi bahan bakar dan kinerja operasional kapal nelayan sangat dipengaruhi oleh efisiensi propulsi kapal, yang mencakup desain sistem penggerak, mesin, dan bentuk lambung kapal [4].

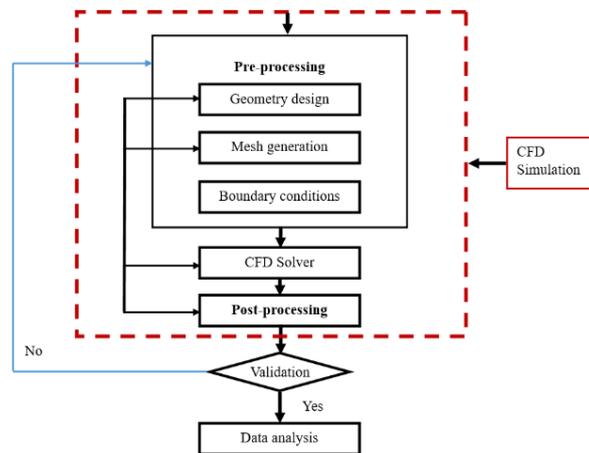
Kapal ikan membutuhkan penggerak utama yang dapat mendorong kapal untuk bergerak maju atau mundur [5],[6]. Beberapa komponen dari sistem propulsi kapal modern adalah mesin penggerak utama, gear box, dan poros baling-baling [7]. Desain dan karakteristik kapal sangat memengaruhi kinerja baling-baling [8]. Gaya dorong baling-baling dihasilkan oleh gaya angkat yang bekerja pada bilah baling-baling saat berputar di dalam air [9]. Dari hal tersebut, untuk mengetahui hasil gaya dorong pada baling-baling, maka perlu digunakan analisa dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics memungkinkan simulasi kondisi nyata dengan akurasi tinggi, untuk mengevaluasi bagaimana variasi sudut poros mempengaruhi aliran air dan efisiensi propulsi [10]. Kecepatan kapal tidak bergantung pada desain baling-baling yang baik untuk mendapatkan gaya dorong terbaik dari gerakan baling-baling [11]. Karena beban kerja yang besar, baling-baling harus menghasilkan daya yang besar pada kecepatan berlayar yang rendah [12]. Akibatnya, nilai efisiensi kinerja baling-baling akan menurun, yang pada akhirnya akan menurunkan performa kapal [13]. Untuk mencapai tekanan yang rendah dan aliran propeller yang stabil, maka dilakukan penelitian mengenai sudut kemiringan hub pada propeller untuk mendapatkan performa yang optimal [14].

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sudut poros baling-baling yang optimal dapat meningkatkan kecepatan dan gaya dorong kapal, sehingga berkontribusi pada efektivitas operasional kapal penangkap ikan [15]. Adapun penelitian sebelumnya yang membahas terkait sudut kemiringan propeller dengan variasi sudut 35°, 50°, 65° untuk propeller perahu rawa [16]. Ketidakpastian ini menciptakan tantangan sekaligus mendorong upaya untuk menemukan solusi yang tepat. Oleh karena itu, analisa sudut kemiringan baling-baling menjadi sangat penting untuk meningkatkan performa kapal dalam kegiatan penangkapan ikan [17]. Penelitian ini memiliki keunikan untuk memberikan dampak yang optimal kepada masyarakat nelayan dalam memilih sudut kemiringan yang paling optimal dengan fokus penelitian diarahkan pada analisa gaya dorong propeller kapal ikan dengan menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics).

Penelitian ini akan membandingkan kecepatan pada aliran fluida dari setiap penggunaan kemiringan pada sudut poros propeller terhadap titik sarat kapal yang dapat menghasilkan gaya dorong sesuai dengan kebutuhan kapal ikan. Penggunaan kombinasi viscous dan potential solver yang dapat memberikan keuntungan dalam hal efisiensi komputasi, maka prediksi karakteristik propulsi kapal itu sendiri, wake fraction, dan thrust reduction dapat diselesaikan [18]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai gaya dorong, dan torsi serta efisiensi kapal ikan yang dihasilkan oleh propeller dengan sudut kemiringan poros propeller menjadi gaya dorong untuk menggerakkan badan kapal dengan menggunakan pendekatan perangkat lunak CFD (Computational Fluid Dynamics).

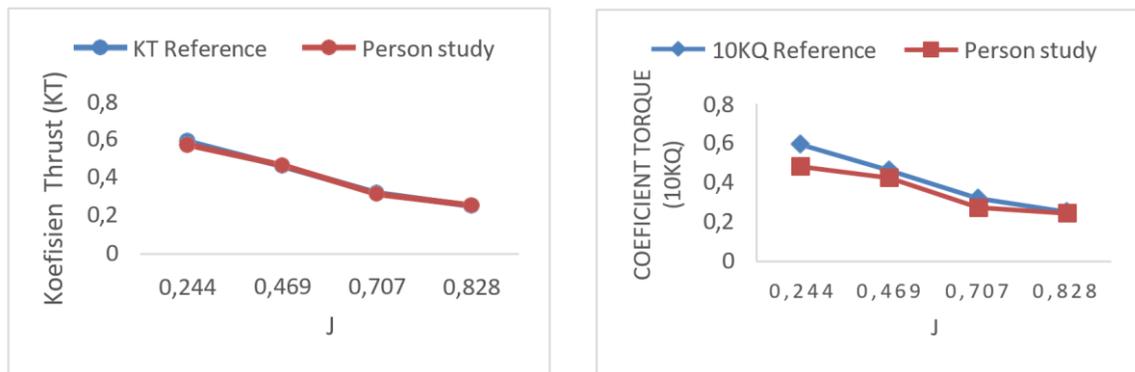
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi sudut poros baling-baling mempengaruhi performa propulsi kapal, khususnya dalam hal gaya dorong dan torsi. Untuk mendapatkan hasil yang akurat dan representatif, simulasi akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent sebagai alat simulasi pada penelitian ini [19]. Ansys Fluent telah banyak digunakan dalam penelitian teknik maritim dan rekayasa fluida, sehingga hasil simulasinya dapat dibandingkan dengan data eksperimen atau referensi yang sudah ada. Konsep perbandingan variasi sudut poros baling-baling pada posisi 0°, 30°, 50°, dan 60°. Pemilihan sudut kemiringan poros propeller berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dengan variasi sudut kemiringan poros propeller yang berbeda dan tipe propeller berbeda pada penelitian ini. Sudut kemiringan propeller memengaruhi karakteristik aliran udara, tekanan, dan gaya yang bekerja. Sudut kemiringan yang berbeda memengaruhi efisiensi gaya dorong, konsumsi energi, dan daya tahan propeller. Propeller jenis B4-65, merupakan jenis propeller yang akan digunakan sebagai objek penelitian untuk mencari pengaruh gaya dorong dan torsi pada propeller tipe B4-65 terhadap kemiringan sudut poros propeller dihitung dan disimulasikan dengan menggunakan program perangkat lunak komputasi Ansys Fluent. Dari gambar 1. menunjukkan diagram alir yang menjelaskan langkah-langkah penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yang telah digambarkan pada diagram alir penelitian, dimulai dari tahap *pre-processing* pada tahapan ini meliputi *geometry design*, penentuan *mesh generation* dengan hasil *mesh* terbaik, pemilihan kondisi batas (*boundary condition*). Apabila *geometry design* dan *mesh generation* telah sesuai maka akan dilakukan *CFD Solver* untuk dilakukan simulasi. Setelah itu, proses simulasi dilakukan dengan menggunakan model *propeller KCS (KP505)* sebelum dilakukan validasi data yang telah dilakukan proses simulasi [20]. Gambar 2 merupakan validasi koefisien *thrust* (KT) dan koefisien *torque* (10KQ) berdasarkan perbandingan antara data referensi dan hasil studi penelitian ini (*Person study*). Grafik sebelah kiri menunjukkan hubungan antara koefisien *thrust* (KT) dan bilangan *advance ratio* (J). Data referensi (*KT Reference*) ditampilkan dalam warna biru, sementara hasil studi penelitian ini (*Person study*) dalam warna merah. Grafik sebelah kanan menunjukkan hubungan antara koefisien *torque* (10KQ) dan bilangan *advance ratio* (J). Validasi ini menunjukkan bahwa studi seseorang mampu menangkap tren perubahan koefisien *thrust* dan *torque* dengan bertambahnya J, tetapi terdapat perbedaan nilai yang cukup konsisten. Proses validasi ini dilakukan sebelum melakukan proses eksperimen pada penelitian ini, hasil validasi simulasi *propeller* berfokus pada hasil *coefisient thrust* dan *coefisient torque*. Hasil validasi yang telah dilakukan simulasi menghasilkan nilai *thrust* dan *torque* di bawah 5% dan apabila proses validasi diatas 5% maka akan dilakukan perubahan pada *pre-processing*. Dalam hal ini pada hasil simulasi ini dinyatakan *valid* dan dapat digunakan sebagai acuan penelitian dan diambil data analysis yang dapat dilihat pada grafik gambar 2.



Gambar 2. Validasi Coefisient Thrust (KT) dan Torque (10KQ)

Karakteristik *fluida* yang digunakan dalam simulasi dan eksperimen sangat berpengaruh terhadap hasil analisis dinamika *fluida* (CFD). Aliran *fluida* yang dihasilkan oleh *propeller* bergantung pada beberapa faktor seperti kecepatan rotasi, kemiringan poros, dan geometri *propeller*. Jenis aliran yang digunakan yaitu turbulen yang dapat meningkatkan gaya dorong, tetapi juga meningkatkan gaya hambat dan tekanan pada *propeller*. Koefisien gerak maju (J), koefisien dorong (KT), koefisien torsi (KQ), dan efisiensi perairan terbuka ( $\eta_0$ ) adalah beberapa indikator karakteristik baling-baling di perairan terbuka [21]. Untuk menentukan nilai persamaan KT dan KQ pada *propeller* maka dapat dilihat pada model persamaan (1) dan (2), setelah dilakukan perhitungan KT dan KQ untuk menghitung koefisien gerak maju pada *propeller* dapat dilihat dalam model persamaan (3). Dimana,

nilai T adalah gaya dorong baling-baling, sedangkan Q adalah nilai torsi baling-baling,  $\rho$  adalah massa jenis fluida, n adalah jumlah putaran baling-baling per detik, D adalah diameter baling-baling, dan  $V_a$  adalah kecepatan gerak maju. Model persamaan untuk karakteristik kinerja baling-baling kapal dalam persamaan sebagai berikut.

$$KT = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \tag{1}$$

$$KQ = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \tag{2}$$

$$J = \frac{V_a}{nD} \tag{3}$$

Hitungan persamaan KT dan KQ dapat dihitung melalui nilai efisiensi baling-baling ( $\eta$ ), dimana model persamaan pada efisiensi dapat dilihat pada model persamaan (4).

$$\eta = \frac{J \cdot KT}{2\pi \cdot KQ} \tag{4}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pre-Processing

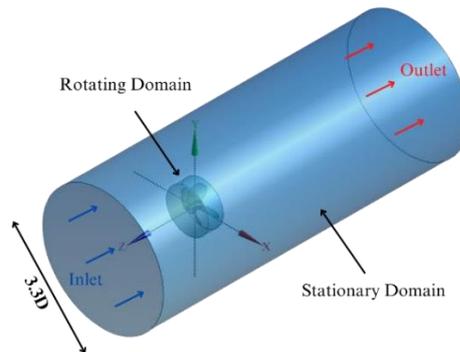
Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent 2021 R2* dalam pemodelan pemodelan desain untuk membuat ukuran domain untuk baling baling. Tabel 1. adalah dimensi dari *propeller B4-65*. Model *propeller 3D* ini digunakan untuk melakukan proses simulasi yang diaplikasikan pada kemiringan *propeller* sesuai dengan besar kecilnya sudut kemiringan *propeller*. *Propeller B4-65* merupakan *propeller* dengan konfigurasi empat bilah, rasio P/D menengah hingga tinggi, dan area bilah yang cukup besar, yang menunjukkan bahwa *propeller* ini dirancang untuk efisiensi yang baik pada kapal dengan kecepatan sedang hingga tinggi. Dengan bahan Ni-Al Bronze, *propeller* ini juga memiliki ketahanan korosi yang baik, menjadikannya pilihan yang cocok untuk penggunaan jangka panjang dalam lingkungan laut.

Tabel 1. Dimensi Propeller B4-65

Parameter	Nilai
Diameter (m)	0.6
Number of Blades	4
Expanded Area Ratio	0.65
P/D Ratio	1.10627
Rake (°)	15
Material	Ni-Al Bronze
Elements	550,646

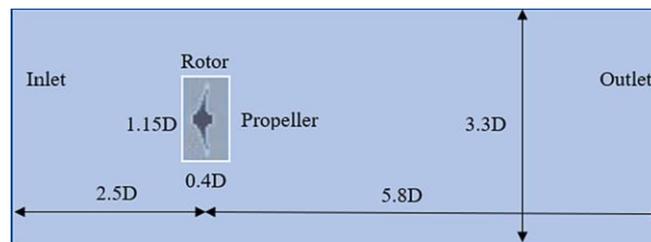
##### 3.1.1. Pemilihan Kondisi Batas

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3, desain 3D *propeller B4-65* dimodelkan menggunakan *Ansys Design Modeler*. Geometri pada domain rotasi adalah diameter: 690 mm, *extrude*: ke arah sumbu z sebesar 120 mm dan berlawanan dengan sumbu z sebesar 120 mm, sedangkan pada domain stasioner adalah diameter: 1980 mm, *extrude*: ke arah sumbu z sebesar 1500 mm sebagai posisi *inlet* dan berlawanan dengan sumbu z sebesar 3480 mm sebagai posisi *outlet* [22]. Domain komputasi pada *inlet* diatur sebagai laju aliran air, sedangkan pada *outlet* diatur sebagai tekanan air *outlet*. Dinding pada baling-baling diatur sebagai dinding *noslip* dengan kemiringan yang berbeda, yaitu 0°, 30°, 50°, dan 60°. Menurut penelitian [23] adalah salah satu faktor yang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi baling-baling. Jika sudut kemiringan sirip berada pada kisaran 45°, aliran akan lebih mudah tersapu oleh sirip. Sebaliknya, jika dipasang pada kisaran 0° atau 90°, aliran akan bergerak bebas melalui sirip, sedangkan jika dipasang pada kisaran 90°, aliran akan tertahan dan menutup jalur aliran. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan pada sudut kemiringan hingga maksimum 60° sebagai acuan penelitian.



Gambar 3. Kondisi Batas *Propeller* B4-65

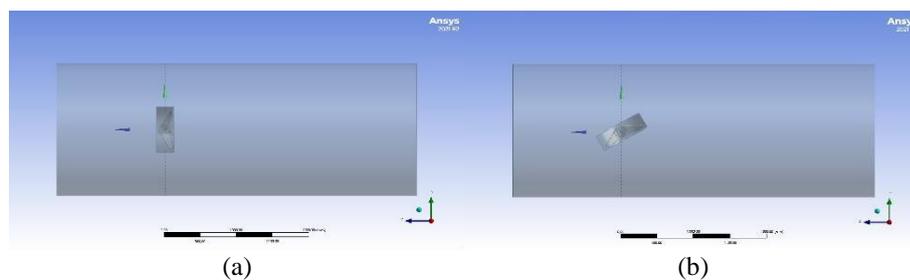
Ukuran domain komputasi ini ditentukan setelah memeriksa efek penyumbatan dengan mempertimbangkan ukuran domain yang lebih besar daripada ukuran saat ini. Batas saluran masuk dan keluar masing-masing terletak pada 2.5D dan 5.8D dari pusat baling-baling [24]. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Posisi *inlet* aliran ditunjukkan berlawanan dengan sumbu z sehingga baling-baling dapat berputar dengan baik. Kondisi tanpa *slip* ditetapkan pada permukaan *blade*, *hub*, saluran, dan batas medan jauh dianggap sebagai kondisi simetri, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.

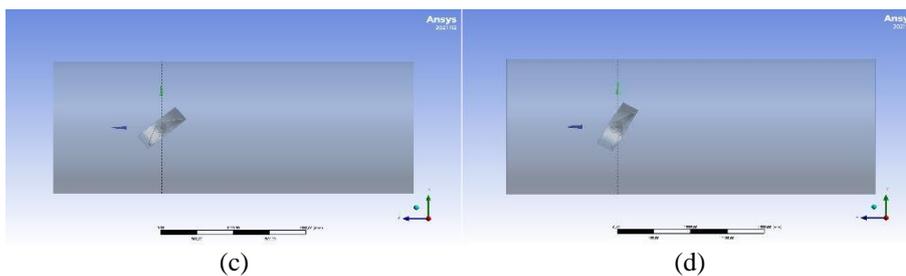


Gambar 4. Ukuran Domain Statis dan Berputar (Sumber: [24])

### 3.2. Processing

Proses simulasi pada *propeller* B4-65 dilakukan melalui beberapa tahap yaitu, pemodelan, *meshing*, pengaturan *fluent*, dan hasil. Keseluruhan proses simulasi menggunakan *Ansys Fluent* 2021 R2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan pemodelan *propeller* dan disesuaikan dengan sudut kemiringan poros *propeller* B4-65 pada sudut kemiringan 0°, 30°, 50°, dan 60°. Metode yang digunakan dalam proses simulasi adalah *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) [25]. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk analisa *propeller*, khususnya untuk *CFD* pada *propeller* dan analisa numerik [26]. Proses analisa pada penelitian ini akan difokuskan pada sudut kemiringan baling-baling yang berbeda. Oleh karena itu, sudut kemiringan yang optimal akan diambil dari hasil simulasi *CFD* untuk menentukan nilai gaya dorong dan torsi dari baling-baling. Posisi kemiringan pada baling-baling dilakukan pada baling-baling dan domain yang berputar sebagai sudut kemiringan. Sudut ini berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan sudut kemiringan [27]. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 kondisi sudut kemiringan poros ini untuk mengetahui gaya dorong optimal yang terjadi pada nilai gaya dorong dan torsi untuk kapal ikan [28].

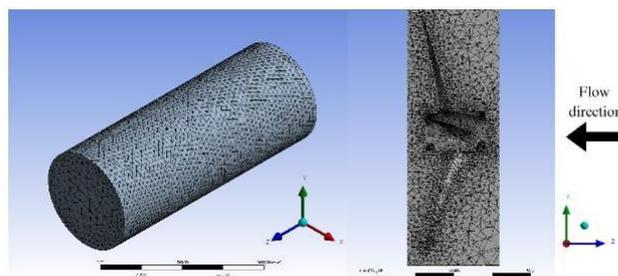




Gambar 5. Kemiringan Sudut Poros (a) 0°, (b) 30°, (c) 50°, dan (d) 60°

**3.2.1. Proses Mesh**

Proses *meshing* dilakukan untuk membagi domain simulasi menjadi elemen-elemen kecil sehingga analisis aliran *fluida* dapat dilakukan dengan akurasi yang tinggi [29]. Proses ini dimulai dengan mengimpor model geometri *propeller* ke dalam ANSYS Meshing dan melakukan *clean-up* geometri jika diperlukan. Selanjutnya, pemilihan jenis elemen *mesh*, seperti *tetrahedral*, *hexahedral*, atau *polyhedral*, disesuaikan dengan kompleksitas geometri dan kebutuhan simulasi. Pada area kritis seperti sekitar bilah *propeller*, dilakukan *refinement mesh* untuk meningkatkan akurasi prediksi aliran dan gaya angkat (*lift*) maupun gaya dorong (*thrust*). Selain itu, penetapan *inflation layer* di sekitar permukaan *propeller* penting untuk menangkap fenomena aliran dekat dinding (*boundary layer*). Proses pemilihan *meshing* diambil dari *meshing* yang terbaik, menentukan *meshing* dari *stationary* domain dan *rotating* domain untuk mendapatkan hasil *meshing* yang sempurna seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Menentukan ukuran *meshing* dan mendapatkan hasil kualitas *meshing* seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 dan 3.



Gambar 6. Mesh Propeller B4-65

Gambar diatas menunjukkan *mesh Propeller B4-65*, yang merupakan tahap awal dalam analisis berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Gambar kiri menunjukkan domain *fluida* berbentuk silinder yang mewakili lingkungan aliran di sekitar *propeller*. Gambar kanan menampilkan bagian dalam domain, dengan *propeller* yang tertutup oleh elemen *mesh*, serta arah aliran yang ditunjukkan oleh panah ke kiri. Penggunaan domain berbentuk silinder sesuai dengan karakteristik aliran sekitar *propeller*, di mana *fluida* bergerak dari hulu ke hilir mengikuti arah rotasi *propeller*. Panah menunjukkan arah aliran masuk (*inlet*) dari kiri ke kanan, yang berarti aliran *fluida* mendekati *propeller* sebelum berinteraksi dengan bilah. Aliran ini akan menghasilkan perubahan tekanan dan kecepatan, yang kemudian dianalisis untuk mengevaluasi performa *propeller* dalam menghasilkan *thrust* dan *torque*.

Tabel 2. Mesh Options & Positioning

Mesh Options	Position	Element Size (mm)
Face Sizing	Propeller Blade	10
Body Sizing	Rotating Domain	50
Body Sizing	Stationary Domain	100

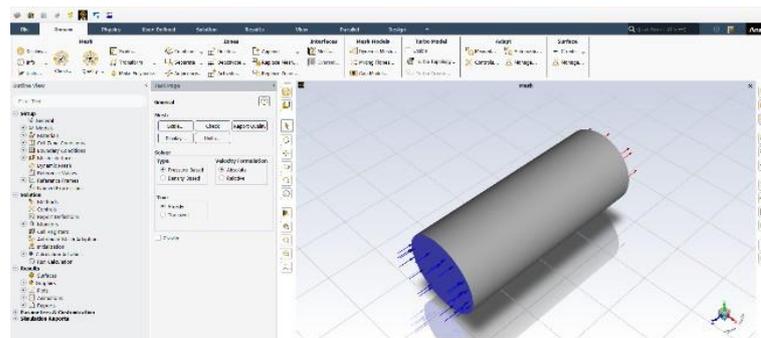
Tabel 3. Kualitas Mesh

Mesh	Jumlah
Elements	113910
Nodes	599357

Tabel 2 dan Tabel 3 menyajikan informasi terkait opsi *mesh*, posisi elemen, ukuran elemen, serta kualitas *mesh* yang digunakan dalam simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk *propeller* B4-65. Penggunaan *mesh* yang lebih halus diterapkan pada bagian *propeller blade* dibandingkan dengan domain lainnya. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan akurasi simulasi pada area yang mengalami perubahan tekanan dan kecepatan yang signifikan. Strategi *mesh* yang diterapkan sangat optimal, dengan resolusi tinggi pada bilah *propeller* untuk akurasi maksimum dan resolusi lebih kasar pada domain luar untuk efisiensi komputasi. Jumlah elemen dan *nodes* menunjukkan simulasi berkualitas tinggi, dengan cukup banyak titik diskritisasi untuk menangkap fenomena penting tanpa mengorbankan kecepatan simulasi.

**3.2.2. Pemilihan Solver dalam Simulasi**

Pemilihan *Fluent setup* menggunakan *Ansys Fluid Flow* yang akan digunakan sebagai proses analisa aliran *fluida* pada *propeller* yang telah diproses melalui *perfect meshing*. Penentuan kondisi *cell zone* dengan memperhatikan *rotating* domain dan arah rotasi pada *propeller* serta arah sumbu yang akan digunakan. Jika diperhatikan *rotating* domain dengan arah sumbu rotasi fokus pada sumbu z. Penentuan kondisi *cell zone* ini dapat dilihat pada tabel 4. Dapat dilihat pada gambar 7 menunjukkan tampilan *Ansys Fluent*, salah satu perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics (CFD)* yang digunakan untuk menganalisis aliran *fluida* di sekitar objek, dalam hal ini *propeller* B4-65. Pemilihan *setup fluent* dari *boundary condition* untuk mengatur kondisi batas seperti *inlet*, *outlet*, dan dinding. *Solver setting* untuk memilih metode numerik untuk menyelesaikan persamaan aliran *fluida* dan monitor & reports digunakan untuk memantau konvergensi dan hasil simulasi.



Gambar 7. Tampilan Ansys Fluent

Tabel 4. Cell Zone Condition

	Motion	Frame Motion
Rotating Domain	Relative to <i>cell zone</i>	Absolute
Stationary Domain	Rotating-axis origin	(X,Y,Z) = (0,0,0)
	Rotation-axis direction	(X,Y,Z) = (0,0,1)
	Rotational velocity	Diff. Velocity corresponding (n)
	Motion	Stationary

Tabel 4 menunjukkan kondisi zona sel (*Cell Zone Condition*) dalam simulasi *CFD* yang digunakan untuk menganalisis *propeller* B4-65. Model rotating domain memungkinkan simulasi *propeller* yang lebih efisien, karena domain *fluida* tidak perlu diperbarui secara fisik setiap langkah waktu. Menentukan kondisi batas dalam analisis gaya dorong dan torsi baling-baling sangat penting untuk menghasilkan simulasi yang akurat. Kondisi batas digunakan untuk mendefinisikan bagaimana baling-baling berinteraksi dengan *fluida* di sekitarnya, baik udara maupun air, dalam konteks dinamika *fluida* komputasi (*CFD*) atau analisis eksperimental. Kondisi batas dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Kondisi Batas

	Reference Frame	Absolute
	Velocity magnitude	6.22 m/s
	Coordinate system	(X,Y,Z) = (0,0,1)
	Turbulent intensity	5%
Pressure Outlet	Backflow reference frame	Absolute
	Backflow direction	Normal to boundary

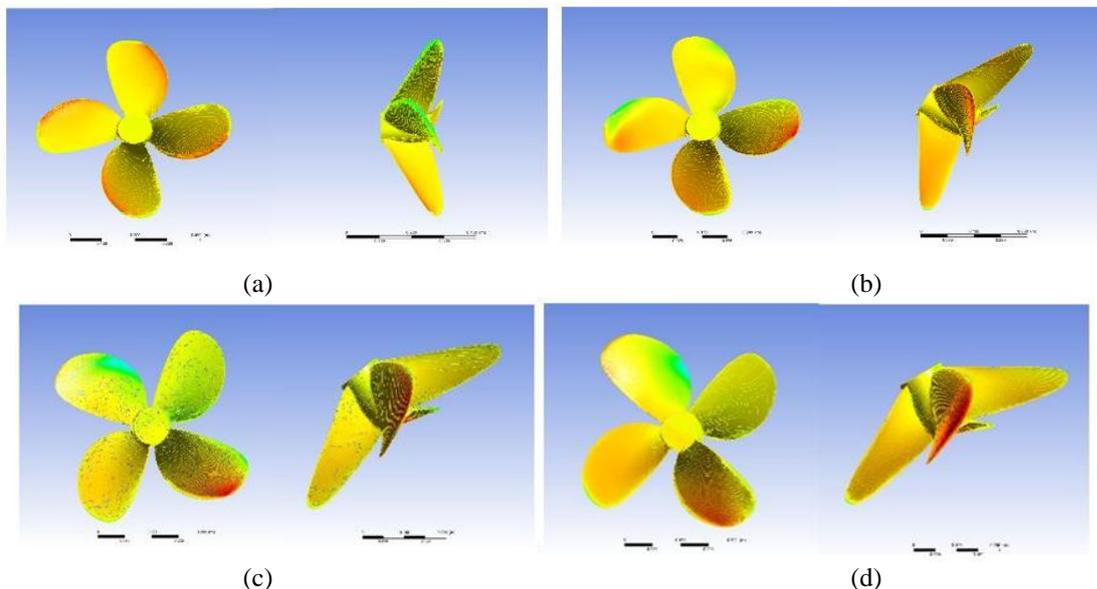
Outer enclosure wall	Turbulent intensity	5%
	Wall motion	Stationary
Propeller blade	Wall condition	No slip
	Wall motion	Stationary
	Wall condition	No slip

**3.3. Post-Processing**

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh [16] yang meneliti terkait dengan kemiringan *propeller* sebagai perbandingan dengan variasi yang berbeda pada penelitian ini. Pada penelitian sebelumnya masih diperlukan lebih banyak data atau grafik untuk memperjelas *tren* perubahan gaya Dorong dan belum menggunakan model perhitungan secara teoritis. Hal ini pada penelitian ini memiliki kebaruan dari penelitian sebelumnya yang melakukan model perhitungan teoritis atau simulasi *CFD (Computational Fluid Dynamics)* untuk meningkatkan validitas temuan. Tahap pasca-pemrosesan melibatkan analisis hasil setelah iterasi. Hasil analisis terdiri dari data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif meliputi nilai gaya dorong dan torsi baling-baling. Data kualitatif meliputi visualisasi profil gaya dorong pada setiap sudut kemiringan poros baling-baling. Nilai gaya dorong dan torsi ditentukan berdasarkan perbedaan sudut kemiringan baling-baling [30]. Parameter dan hasil yang telah ditentukan pada penelitian ini dilihat dari tabel 6 dengan menggunakan kemiringan *propeller* 0°, 30°, 50°, dan 60°, *rotational speed* (n) 30 rps, *velocity of advance* (U) 6.22 m/s dan hasil perhitungan numerik pada koefisien *thrust* dan koefisien *torque* telah didapat pada kemiringan yang paling optimal. Hasil simulasi *streamline* dan tekanan ditunjukkan pada gambar 8 dan 9. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada semua variasi sudut kemiringan baling-baling 0°, 30°, 50°, dan 60° terjadi peningkatan nilai gaya dorong dan torsi pada kemiringan 50° dan terjadi penurunan pada kemiringan 60°. Hal ini menjadikan *Propeller* dengan kemiringan 50° yang paling optimal untuk kapal ikan nelayan.

Tabel 6. *Simulation Flow Condition*

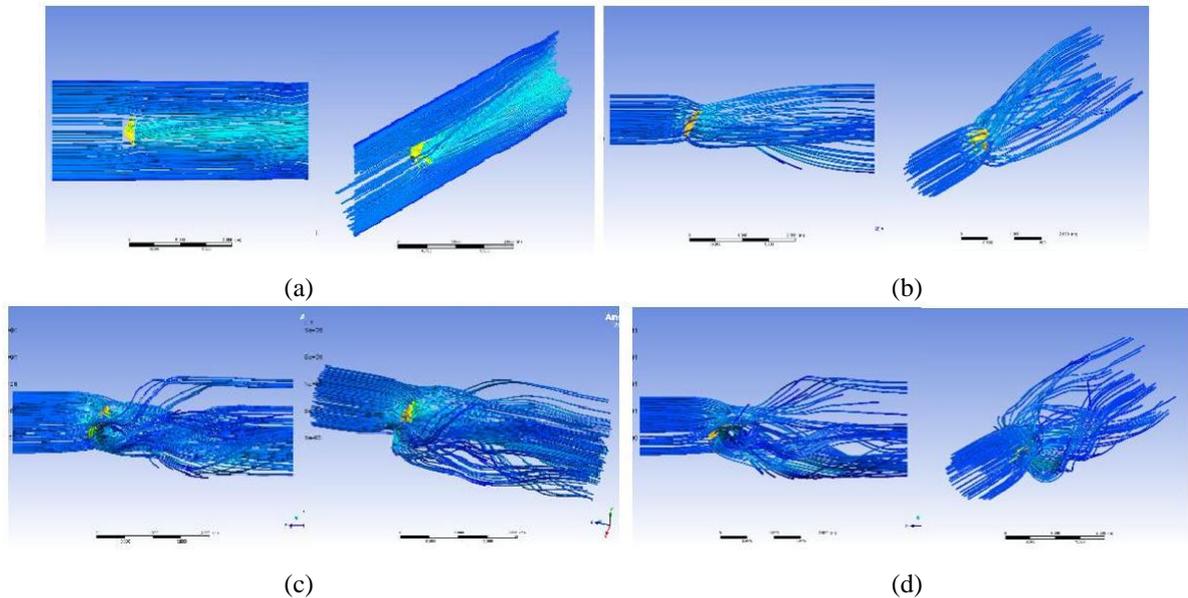
Angle	Rotational speed n (rps)	Velocity of advance (U) m/s	KT	10KQ
0°	30	6.22	3345,5	9808
30°	30	6.22	29830	66098,3
50°	30	6.22	55809	72111,5
60°	30	6.22	54582,4	61938,1



Gambar 8. Simulasi *Pressure Contour* (a) 0°, (b) 30°, (c) 50°, dan (d) 60°

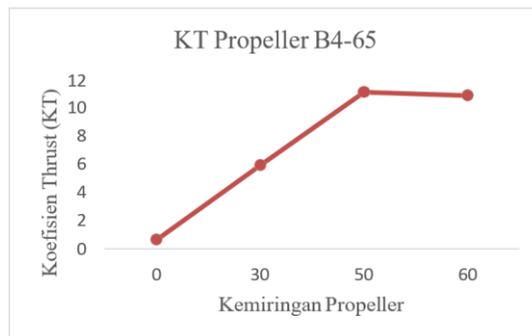
Visualisasi proses simulasi *pressure contour* pada *propeller* B4-65 dengan keterangan bahwa merah atau kuning pada sisi depan (*leading face*) menunjukkan area dengan tekanan tinggi. Hal ini terjadi karena dorongan fluida terhadap permukaan baling-baling saat berputar. Warna biru atau hijau di sisi belakang (*trailing face*)

menunjukkan area dengan tekanan rendah. Perbedaan tekanan ini yang menciptakan gaya dorong (*thrust*) pada *propeller*. Hasil ini dapat digunakan untuk melakukan optimasi desain, seperti mengubah sudut *pitch*, jumlah bilah, atau material *propeller* agar lebih tahan terhadap tekanan tinggi dan turbulensi.

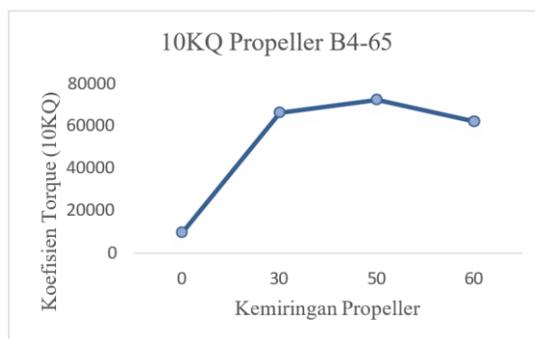


Gambar 9. Simulasi Streamline (a) 0°, (b) 30°, (c) 50°, dan (d) 60°

Visualisasi proses simulasi streamline pada *propeller* B4-65 bahwa *streamline* menunjukkan jalur yang diikuti oleh partikel fluida saat mengalir melalui *propeller*. Warna pada *streamline* biasanya menunjukkan kecepatan *fluida*, warna merah atau kuning sering menunjukkan kecepatan tinggi, sedangkan warna biru menunjukkan kecepatan rendah. Kecepatan tinggi di sekitar ujung bilah *propeller* bisa menjadi indikasi efisiensi dorongan yang baik, tetapi jika terlalu tinggi bisa menyebabkan kavitasi.



Gambar 10. Grafik Hasil Koefisien *Thrust*



Gambar 11. Grafik Hasil Koefisien *Torque*

Pada gambar 10 dan 11 merupakan grafik perhitungan simulasi *propeller* B4-65 dengan memperhatikan nilai gaya dorong dan torsi. Seperti yang dilihat pada grafik koefisien *thrust* menunjukkan angka optimal dari *propeller* pada posisi kemiringan poros  $50^\circ$  dan terjadi penurunan angka *thrust* pada kemiringan poros  $60^\circ$ . Dalam hal ini nilai koefisien *thrust* yang paling optimal pada kemiringan poros  $50^\circ$ . Persamaan terjadi pada perhitungan secara simulasi pada torsi *propeller*, dimana hasil tersebut nilai koefisien torsi tertinggi pada posisi kemiringan poros  $50^\circ$  dan terjadi penurunan angka torsi pada posisi kemiringan poros  $60^\circ$ . Hal ini dari perhitungan secara simulasi dalam menghitung nilai koefisien torsi dengan kemiringan poros *propeller* paling optimal pada posisi kemiringan  $50^\circ$ . Hasil penelitian ini dapat langsung diterapkan dalam desain kapal nelayan untuk meningkatkan efisiensi gaya dorong, menghemat bahan bakar, dan memperpanjang umur peralatan kapal. Melalui pendekatan simulasi, nelayan dan pembuat kapal dapat menemukan konfigurasi terbaik yang sesuai dengan kebutuhan operasional mereka. Pemilihan sudut kemiringan yang tepat, kapal nelayan dapat mengurangi hambatan air, meningkatkan efisiensi propulsi, dan menghemat bahan bakar. Simulasi *CFD* sebelum pembangunan kapal untuk memastikan efisiensi desain. Adanya penyesuaian sudut poros baling-baling, kapal dapat memperoleh keseimbangan antara kecepatan dan stabilitas.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis pengaruh sudut kemiringan poros baling-baling terhadap gaya dorong yang dihasilkan. Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat perbedaan serta peningkatan hingga penurunan nilai gaya dorong dan torsi pada setiap sudut kemiringan yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa gaya dorong dan torsi memiliki nilai tertinggi pada sudut  $50^\circ$ , dengan gaya dorong 55809 N dan torsi 72111,5 Nm. Koefisien gaya dorong optimum yang dihasilkan terdapat pada variasi sudut kemiringan baling-baling  $50^\circ$ . Rekomendasi untuk implementasi dari penelitian ini yaitu gunakan mesin yang lebih efisien dengan torsi rendah pada RPM optimal untuk menyesuaikan dengan sudut kemiringan yang telah dioptimalkan. Saran yang berguna untuk penelitian lebih lanjut mengenai sudut kemiringan baling-baling dalam meningkatkan efisiensi desain dan performa kapal nelayan dapat mengeksplorasi metode optimasi berbasis kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* (ML). Selain itu, penelitian selanjutnya perlu membandingkan metode lain dengan menghitung gaya dorong dan torsi untuk kavitas dan efek kavitas pada suatu material.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sultan and M. F. Ramadhan, "Peran Kebijakan Pemerintah Dalam Mengelola Sumber Daya Laut Indonesia," *Ris. Sains dan Teknol. Kelaut.*, vol. 7, no. 1, pp. 34–40, 2024, doi: 10.62012/sensistek.v7i1.31635.
- [2] A. Harris, A. Sudiarmo, R. Sutanto, S. P. Laut, S. Pertahanan, and U. Pertahanan, "Strategi Pertahanan Laut Dalam Rangka Ancaman Keamanan di Alur Laut Kepulauan Indonesia II," *J. Educ. Dev. Inst.*, vol. 10, pp. 325–331, 2022.
- [3] M. Yusuf and A. Rakhman, "Analisis Strategi Penghidupan Dan Program Peningkatan Kesejahteraan Rumah tangga Nelayan Di Kecamatan Pringgabaya Kabupaten Lombok Timur," *J. Agrimansion*, vol. 24, no. 3, pp. 725–736, 2023, doi: 10.29303/agrimansion.v24i3.1569.
- [4] X. I. Loizidou, D. L. Orthodoxou, and R. Godet, "Bioplastic fishing nets as a sustainable alternative against ghost fishing: Results from the year-long testing among artisanal fishermen for operational effectiveness and social acceptance," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 209, no. PB, p. 117300, 2024, doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.117300.
- [5] Bahari, A. Mahsun, M. Nur, and M. Jauhari, "Rancang Bangun Sistem Kendali Jarak Jauh Semi Autonomous pada Prototype Kapal Penebar Pakan Ikan Bandeng," *J. Techno*, vol. 11, no. 1, pp. 12–19, 2024, [Online]. Available: www.uelectronics.com
- [6] Y. A. Budiyan and S. Hartini, "Analisis Terjadinya Keterlambatan pada Distribusi Cargo Curah dari Kapal ke Warehouse Menggunakan Metode Fishbone Diagram," *Ind. Eng. Online Journal*, 2025.
- [7] A. Iswanto, I. M. Ariana, S. Semin, A. Z. M. Fathallah, and B. Cahyono, "Pengenalan dan Pemberian Wawasan Sistem Propulsi Kapal pada Siswa SMA Insan Cendekia Sukoharjo," *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 6, no. 4, pp. 1–9, Jun. 2022, doi: 10.12962/j26139960.v6i4.376.
- [8] B. A. Aditya, H. Syahab, M. Nasir, W. D. Aryawan, and I. K. A. P. Utama, "Numerical Analysis into the Improvement Performance of Ducted Propeller by using Fins: Case Studies on Types B4-70 and Ka4-70," *CFD Lett.*, vol. 16, no. 10, pp. 12–42, 2024, doi: 10.37934/cfdl.16.10.1242.

- [9] F. Anugrah, I. Qarim, and A. Mukhtar, "Pengaruh Pola Pemasangan dan Rasio Dimensi Propeller Terhadap Unjuk Kerja Perahu Tipe Penggerak Contra Rotation Propeller," *J. V-Mac*, vol. 6, no. 2, pp. 46–51, 2021.
- [10] M. Arafat, I. A. Ishak, and N. Mohd Maruai, "Assessment of computational fluid dynamics simulation approach for the aerodynamic performance of small unmanned aerial vehicle propeller," *Eng. Res. Express*, vol. 6, no. 4, 2024, doi: 10.1088/2631-8695/ad9e6c.
- [11] A. Bahatmaka *et al.*, "Numerical Approach of Fishing Vessel Hull Form to Measure Resistance Profile and Wave Pattern of Mono-Hull Design," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 104, no. 1, pp. 1–11, Apr. 2023, doi: 10.37934/arfmts.104.1.111.
- [12] A. P. Antika, I. P. Mulyatno, and A. W. B. Santosa, "Analisa Hambatan Kapal Kontainer 25000 DWT Rute Perairan Surabaya - Kobe," *Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 4, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/26745>
- [13] A. Santoso, I. Syarief Arief, and N. Masro, "Effect of Main Engine Placement and Propeller Shaft Inclination on Ship Performance," 2021.
- [14] S. Aram and P. Mucha, "Computational fluid dynamics analysis of different propeller models for a ship maneuvering in calm water," *Ocean Eng.*, vol. 276, May 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.114226.
- [15] S. M. Simamora, D. Chrismianto, S. Samuel, L. Perencanaan, D. Komputer, and A. Peningkatan, "Desain Kapal Pariwisata Dengan Penambahan Layar di Danau Toba Dengan Bentuk Lambung Monohull," *Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 4, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [16] A. Syakur, A. Sunardi, M. Zaenudin, Y. Saleh, and L. SF, "Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Propeller Udara Terhadap Kinerja Perahu Rawa (Swamp Boat)," *Integr. Mech. Eng. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 18–27, 2024, doi: 10.56904/imejour.v2i1.25.
- [17] M. N. Habib, E. R. De Fretes, and S. T. A. Lekatompessy, "Pengaruh Kemiringan Poros Baling-Baling Terhadap Kecepatan Perahu Ketinting," *Semin. Nas. Archipel. Eng.*, 2021.
- [18] K. C. P. Lumbanraja, D. Chrismianto, and S. Samuel, "Perhitungan Nilai Maksimum Thrust, Torque, dan Efficiency Propeller Tipe B-4 Series pada Kapal Tugboat dengan Modifikasi Diameter, Rake, dan Pitch menggunakan Metode Komputasi," *J. Rekayasa Hijau*, vol. 5, no. 1, pp. 63–78, Apr. 2021, doi: 10.26760/jrh.v5i1.63-78.
- [19] Ansys, "Fluent Theory Guide," in *Release*, 2024, pp. 1–48.
- [20] A. Nadery, H. Ghassemi, and L. Chybowski, "The effect of the PSS configuration on the hydrodynamic performance of the KP505 propeller behind the KCS," *Ocean Eng.*, vol. 234, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109310.
- [21] A. Bahatmaka, D. J. Kim, and S. Anis, "A Validation Simulation using OpenFOAM: Nozzle Length and Angle Effect on the Ducted Propeller Performance," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1083, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1083/1/012088.
- [22] D. W. Holmes and P. Pivonka, "Novel pressure inlet and outlet boundary conditions for Smoothed Particle Hydrodynamics, applied to real problems in porous media flow," 2021.
- [23] J. H. Jiménez, J. D. Hoyos, C. Echavarría, and J. P. Alvarado, "Exhaustive Analysis on Aircraft Propeller Performance through a BEMT Tool," *J. Aeronaut. Astronaut. Aviat.*, vol. 54, no. 1, pp. 13–24, Mar. 2022, doi: 10.6125/JoAAA.202203\_54(1).02.
- [24] O. Lovibond, A. F. A. Elbarghthi, V. Dvorak, and C. Wen, "Numerical analysis of propellers for electric boats using computational fluid dynamics modelling," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 17, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.ecmx.2023.100349.
- [25] S. N. Rahmah, G. Jatisukamto, and H. Sutjahjono, "The Influence of the Reference Area of Aileron on the N2XX Aircraft Using Computational Fluid Dynamics," *J. Mech. Eng. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 28–36, Jul. 2020, doi: 10.17977/um016v4i12020p028.
- [26] R. Mudzakir, H. Dan, H. Widiatoro, T. Mesin, N. Bandung, and J. Gegerkalong, "Simulasi CFD Turbin Francis Skala Laboratorium Sebagai Alat Bantu Praktikum Menggunakan Software Solidwork," 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [27] B. Sutanto, Y. D. Herlambang, Bono, A. S. Alfauzi, and D. A. Munawwaroh, "Optimalisasi Arah Sudut Tilt Dan Sudut Azimuth dari Alat Pemanen Energi Radiasi Matahari di Semarang, Jawa Tengah," *Tek. Energi*, vol. 17, no. 2, 2021.
- [28] M. Alif *et al.*, "Kajian Teknis Propeller Tipe B-Series dan Kaplan Dengan Variasi Sudut Rake Pada Kapal

- Offshore Supply Vessel 80 (Osv 80),” *Zo. LAUT*, vol. 4, no. 3, 2023, [Online]. Available: <https://journal.unhas.ac.id/index.php/zonalaut>
- [29] M. F. Muvariz *et al.*, “Analisa Kekuatan Pipa Elbow 450 Terhadap Aliran Fluida Minyak Bahan Bakar pada Kapal Tugboat,” *INOVTEK Polbeng*, vol. 14, no. 02, pp. 117–129, Nov. 2024, doi: 10.35314/yvk2eh69.
- [30] R. Islahan, A. F. Zakki, and P. Mulyatno, “Analisa Pengaruh Modifikasi Sudut Skew Propeller B5-80 Terhadap Umur Kelelahan Pada Kapal Kriso Container 3600 TEUs,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 290–300, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>.