



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisis Engine Propeller Matching pada Kapal Perintis KM. Sabuk Nusantara 500 DWT

Gigih Erlangga Jati<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>2)</sup>, Kiryanto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Sistem dan Permesinan Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275  
e-mail : [gigiherlanggajati@students.undip.ac.id](mailto:gigiherlanggajati@students.undip.ac.id)

### Abstrak

Kapal perintis berperan sebagai alat transportasi dalam menghubungkan daerah terpencil di Indonesia, untuk mendukung pertumbuhan ekonomi lokal yang memungkinkan frekuensi pelayaran lebih sering sehingga mendorong pertumbuhan ekonomi di daerah untuk memberikan dampak yang lebih luas bagi sektor transportasi laut di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional kapal perintis melalui optimalisasi propeller matching khususnya untuk kapal dengan karakteristik propeller pada kapal perintis. Dengan menggunakan metode Holtrop, penelitian ini menghitung hambatan kapal dihitung berdasarkan paramter teknis seperti panajng garis air, lebar maksimum, draft, dan koefisien blok. Hasil perhitungan hambatan digunakan untuk menentukan daya mesin optimal yang mendukung efisiensi propulsi. Pada analisis mendalam terhadap propeller tipe B4-70 menunjukkan bahwa kombinasi area ratio  $Ae/Ao$  0,6 – 0,8 dengan diameter 1,29 m, dan putaran mesin 1700 rpm menghasilkan efisiensi tertinggi menggunakan gearbox ratio 1:3,26 kapal dapat mencapai kecepatan maksimum 12 knot dengan efisiensi bahan bakar sebesar 1,5 ton/jam. Hasil penelitian ini memberikan implikasi praktis berupa peningkatan efisiensi bahan bakar dan pengurangan biaya operasional jangka panjang. Selain itu, penelitian ini mendukung pengembangan transportasi laut yang lebih ekonomis dan berkelanjutan melalui pengutan kinerja propulsi serta model prediksi konsumsi bahan bakar yang lebih akurat, khususnya untuk pelayaran kapal perintis di Indonesia.

Kata Kunci : Analisis Engine Propeller Matching, Kapal Perintis 500 DWT, KM. Sabuk Nusantara

### 1. PENDAHULUAN

Kapal perintis berperan sebagai alat transportasi dalam menghubungkan daerah terpencil di Indonesia, untuk mendukung pertumbuhan ekonomi lokal yang memungkinkan frekuensi pelayaran lebih sering sehingga mendorong pertumbuhan ekonomi di daerah untuk memberikan dampak yang lebih luas bagi sektor transportasi laut di Indonesia. Hanya muatan minyak yang tidak bisa dibawa dengan kapal perintis karena terkendala peraturan keselamatan dan keamanan pelayaran kapal [1].

Pengoperasian pelayaran perintis memberikan pelayanan transportasi daerah terpencil serta sebagai sarana untuk pemerataan pembangunan. Beberapa trayek printis yang sudah dilayani oleh kapal – kapal milik perusahaan swasta untuk pengoperasian kapal merupakan salah satu

perwujudan untuk mendukung transportasi laut dengan menggunakan metode numerik dan eksperimental pada transportasi laut [2]

Pemerintah telah menerapkan kebijakan dalam menyediakan sarana angkutan perintis yang diharapkan dapat mengacu perekonomian daerah terpencil. Menurut undang – undang nomer 17 tahun 2008 tentang pelayaran, bahwa dalam pasal 24 untuk daerah masih tertinggal wajib dilaksanakan dengan pelayaran perintis. Terhadap perkembangan daerah dapat menjamin kepastian tersedianya pelayaran jasa transportasi laut secara tetap dapat juga meningkatkan hubungan baik antar daerah surplus dengan daerah minus, Selain itu, dengan digelarnya layanan kapal perintis ini dalam melaksanakan kerja kementerian perhubungan untuk peningkatan kapasitas transportasi, sehingga penting untuk mengetahui matching point mesin dengan *propeller* [3]

Secara umum kapal bergerak menggunakan *propeller* untuk menghasilkan gaya dorong dalam menggerakkan kapal. Pada desain lambung kapal didasarkan dengan jumlah muatan, jenis muatan dan jarak tempuh kapal. Oleh sebab itu ada empat tipe karakter lambung berdasarkan cara gerakannya, yaitu *hydrostatic*, *hydrodynamic*, *aerostatic*, dan *aerodynamic support* [4].

Dari semua jenis kapal dengan cara perhitungan hambatan akan memiliki konsep yang hampir sama dalam menentukan besar gaya dorong yang dibutuhkan oleh kapal dengan dilakukan perhitungan hambatan kapal menggunakan metode Holtrop sehingga kinerja sistem propulsi kapal menjadi optimal. Pada dasarnya digunakan untuk memprediksi kebutuhan daya untuk mendorong kapal dengan mendefinisikan parameter seperti *displacement* kapal ( $\Delta$ ), kecepatan kapal ( $V$ ), koefisien blok ( $C_b$ ). Metode tersebut adalah menghitung *resistance* dengan mengevaluasi daya poros menggunakan *propulsive coefficient* (PC) berdasarkan *wake and thrust deduction method* dan efisiensi *open water propeller* yang diambil dari *B-Series Wageningen propeller* [5]. Faktor untuk mencapai daya mesin yang maksimal adalah hambatan yang menjadi sebuah pertimbangan dalam pemilihan daya mesin kapal, maka dari itu hambatan sangat berpengaruh dalam biaya operasional kapal [6]. Salah satu aspek yang paling penting dalam pembuatan kapal adalah *propeller* hal tersebut sangat penting dalam perencanaan *propeller* adalah nilai efisiensi dari *propeller* dapat memberikan gaya dorong dengan alesan tersebut dapat menganalisis *engine propeller matching* pada kapal [7].

Terdapat penelitian sebelumnya yang berjudul analisis *engine propeller matching* pada kapal X akibat memodifikasi lambung kapal terhadap performa *propeller* dan memastikan *propeller* tidak mengalami kavitasi selama operasional. Penelitian tersebut menggunakan nilai *thrust Coefficient* (TC) dari metode burrill lebih besar dibandingkan  $T_c$  Cal, sehingga mengonfirmasi tidak adanya resiko kavitasi. Selain itu, penelitian tersebut mencatat bahwa nilai daya matching point mencapai 97,55 % dengan kecepatan putar *propeller* 97,07 RPM pada kondisi lambung kapal yang bersih (*clean hull*) [8].

Berdasarkan penelitian terdahulu, analisis *engine propeller matching* pada kapal KM. Sunlia yang berfokus akibat pergantian mesin induk menunjukkan bahwa pembebanan efisiensi *propeller* mencapai 0,545, dengan titik presentase operasi sebesar 79% dan kebutuhan daya sebesar 81,85% untuk mencapai kecepatan 12 knot. Namun, penelitian tersebut terbatas pada analisis pembebanan mesin dan *propeller* pada satu

kecepatan tertentu, tanpa mempertimbangkan kecepatan operasi yang lebih bervariasi [9].

Berdasarkan landasan tersebut, Penelitian ini akan dilakukan pada kapal perintis KM. Sabuk Nusantara 500 DWT bertujuan untuk mendapatkan kesesuaian antara *propeller* dan mesin yang digunakan pada kapal untuk menghasilkan kecepatan yang diinginkan. Sehingga analisis ini mencakup pemodelan kapal, perhitungan daya mesin, perhitungan *propeller*, matching point antara mesin dengan *propeller* agar mendapatkan sistem propulsi yang maksimal.

## 2. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan kesesuaian mesin dan *propeller* (*engine propeller matching*) pada kapal perintis KM. Sabuk Nusantara 500 DWT. Langkah awal penelitian melibatkan pembuatan model 3 dimensi kapal secara rinci menggunakan perangkat lunak *maxsurf*, yang mencakup bentuk kapal (*hull form*), serta distribusi berat (*weight distribution*). Model ini digunakan untuk menghitung hambatan kapal melalui dua pendekatan :

1. simulasi numerik menggunakan *maxsurf resistance* untuk mendapatkan hambatan total (*resistance*) pada berbagai kecepatan, termasuk komponen hambatan viskos, gelombang dan residu.
2. Perhitungan manual menggunakan metode Holtrop yang menghitung panjang garis air (LWL), lebar kapal (B), draft (T), koefisien blok (CB), serta kekasaran permukaan lambung.

Hasil perhitungan hambatan dari kedua model ini dibandingkan untuk memvalidasi akurasi model, dengan parameter kesalahan (error) maksimum ditetapkan sebesar  $\pm 5\%$ .

Selanjutnya, karakteristik *propeller* dievaluasi berdasarkan parameter teknis berikut :

- Diameter *propeller* (D)
- *Pitch – to – diameter ratio* (P/D)
- Kecepatan putar (RPM)
- *Thrust coefficient* (K<sub>Q</sub>)
- *Torque Coefficient* (K<sub>T</sub>)
- Efisiensi propulsi ( $\eta$ )

Proses validasi *matching point* dilakukan dengan menganalisis kurva performa mesin utama, yang meliputi daya maksimum (MCR), Torsi (*Torque*), dan konsumsi bahan bakar. *Matching point* antara mesin dan *propeller* divalidasi menggunakan *propeller curve* (KQ-J diagram) dan kurva daya mesin untuk memastikan bahwa titik operasional berada di area efisien, yaitu :

- Area ideal : mesin beroperasi pada 75 – 85% MCR.
- Area kritis : menghindari kondisi overload (RPM terlalu rendah untuk dorsi tinggi dan underload (RPM tinggi dengan daya rendah)

Validasi Akhir :

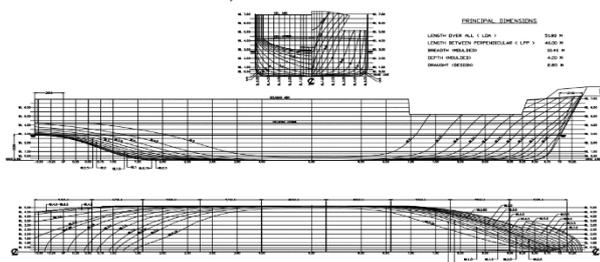
Hasil dimulasi dibandingkan dengan data operasional kapal, meliputi :

1. Konsumsi bahan bakar (*Fuel consumption*) pada kecepatan operasional.
2. Kecepatan kapal (*Ship Speed*) pada daya tertentu.
3. RPM *propeller* dan *Matching point* mesin pada kondisi operasi.

## 2.1. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah kapal perintis KM. Sabuk Nusantara 500 DWT. Data teknis yang digunakan meliputi ukuran utama kapal dan *linesplan*. Dalam penelitian ini didapat dari galangan PT. Dok Bahari Nusantara sehingga dibutuhkan data – data untuk menunjang dari penelitian ini, adapun data ukuran utama kapal sebagai berikut :

- Kapal perintis Sabuk Nusantara 500 DWT
- Loa : 51,80 M
- B : 10,40 M
- H : 4,20 M
- T : 2,85 M



Gambar 1 *linesplan* kapal KM. Sabuk Nusantara 500 DWT

## 2.2. Parameter Penelitian

### • Hambatan Kapal

Hambatan kapal merupakan gaya yang dihasilkan oleh medium fluida yang dilalui kapal pada kecepatan tertentu. Menurut standar internasional ITTC, hambatan kapal pada perairan tenang diklasifikasikan menjadi dua komponen utama : hambatan viskos yang terkait dengan bilangan *Reynolds* dan hambatan pembuatan gelombang yang bergantung pada bilangan *Froude*. Perbedaan antara kedua komponen ini ditunjukkan melalui kolerasi dalam persamaan 1 [10].

$$R_{T(Re,Fr)} = (I+K)_{(Fr)} R_{F(Re)} + R_{W(Fr)} \quad (1)$$

Selain itu dapat pula dengan menggunakan metode *holtrop* adalah suatu metode untuk menentukan besarnya tenaga dan *matching propeller* pada sebuah kapal [11] Hambatan metode *holtrop* menentukan beberapa perhitungan : *Effective Horse Power* (EHP), *Delivery Horse Power* (DHP), *Shaft Horse Power* (SHP), *Brake Horse Power* (BHP) dapat dinyatakan dengan persamaan 2 [12]

$$RT = \frac{1}{2} \rho C_T (WSA) V^2 \quad (2)$$

### • Daya mesin kapal

Untuk melakukan perhitungan daya mesin pada kapal perintis diperlukan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal agar kapal dapat menghasilkan gaya dorong yang dihasilkan harus mampu mengatasi total hambatan yang bekerja saat kapal bergerak pada kecepatan tertentu [13] Pengoperasian *propeller* dengan output mesin yang digunakan dalam kecepatan Adapun daya – daya yang harus dihitung untuk mengetahui daya pada di kapal [14].

#### a. *Effective Horse Power* (EHP)

*Effective Horse Power* juga dikenal sebagai EHP merupakan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal dengan kecepatan tertentu untuk menarik kapal. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan 3 [15].

$$EHP = RT \text{ dinas} \times Vs \text{ dinas} \quad (3)$$

Pada  $R_T$  dinas kelonggaran rata – rata pada tahanan dan daya efektif yang disebut *service margin* dengan rute pelayaran di daerah Asia tenggara (Perairan Indonesia)

*sea margin* sebesar 10 – 15 % maka dari itu diasumsikan nilai *sea margin* 1+15% maka, menjadi  $(1+15\%) \times R_T$  [16]

**b. Wake Fraction (w) dan Thrust Deduction Factor (t)**

Dalam perhitungan efisiensi propulsi kapal, aliran air yang memasuki propeller akan dipengaruhi oleh gerakan kapal yang menghasilkan gaya dorong *thrust* dari setiap kapal [17]. Hal ini *taylor* memberikan rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan kapal dan kecepatan air yang dinamakan *wake fraction* dapat dihitung dengan persamaan 4 – 5 [18].

$$w = 0,5 \times cb - 0,05 \quad (4)$$

Berdasarkan hubungan rumus koefisien nilai t adalah sebagai berikut:

$$t = k \times w \quad (5)$$

dari rumus diatas merupakan perhitungan daya dorong dengan metode holtrop yang memiliki faktor lain yaitu dari *wake fraction* dan *thrust deduction fraction* itu sendiri [19]

**c. Speed of advance (Va)**

*Speed of advance* atau kecepatan *advance* adalah akselerasi air dibagian *propeller* bergerak kurang dari kecepatan kapal.. perhitungan *speed of advance* dapat dihitung dengan persamaan 6 [20].

$$V_A = (1-w) \times V_s \quad (6)$$

**d. Delivered Horse Power (DHP)**

Dapat dikaitkan dengan daya yang diserap oleh *propeller* kapal guna menghasilkan gaya dorong *thrust* pada kapal [21] Maka, DHP didapat nilai daya efektif atau EHP dan koefisien propulsif berdasarkan daya yang diperlukan untuk mengatasi *resistance* kapal dengan mempertimbangkan nilai *propulsive coefficient* didapat dari persamaan 7 [22].

$$DHP = EHP/PC \quad (7)$$

Dimana PC merupakan koefisien propulsi yang didapat dari persamaan 8

$$PC = \eta_h \times \eta_{rr} \times \eta_o \quad (8)$$

$\eta_o$  yaitu efisiensi propulsi yang didapatkan dari pembacaan data *open water test*,  $\eta_{rr}$  merupakan efisiensi relatif relatif. sedangkan

$\eta_h$  adalah efisiensi bentuk lambung kapal yang dapat dihitung dengan persamaan 9 [22].

$$\eta_h = (1-t)/(1-w) \quad (9)$$

Dimana t adalah *Thrust deduction fraction*, sedangkan w adalah *wake fraction* [23]

**e. Shaft Horse Power (SHP)**

*Shaft Horse Power* (SHP) merupakan daya yang dapat diukur pada daerah bantalan tabung poros dari sistem poros penggerak kapal. pada kapal yang kamar mesinnya berada dibagian belakang kapal, memiliki kerugian mekanis sebesar 2% [24] Maka dari itu *Shaft Horse Power* (SHP) dapat dihitung menggunakan persamaan 10 [22].

$$SHP = DHP/\eta_s \quad (10)$$

**f. Brake Horse Power (BHP)**

*Brake Horse Power* (BHP) merupakan daya cakram yang dihasilkan dari poros mesin yang berfungsi untuk mennggerakan beban[25] BHP itu sendiri terdapat beban *thurst* kapal yang dapat dihitung dengan persamaan 11 [22].

$$BHP = DHP / \eta_{Gear} \quad (11)$$

Dimana DHP adalah power mesin kapal yang diserap sampai *propeller* untuk menggerakkan *propeller* yang membuat gaya dorong sedangkan  $\eta_{Gear}$  adalah efisiensi gigi reduksi.

**• Parameter Matching Point**

Analisis kesesuaian mesin dengan *propeller* yang optimal melalui analisis *engine propeller matching*, ada beberapa karakteristik yang harus diperhatikan yang akan menjadi pertimbangan utama: yaitu *type propeller*, diameter *propeller pitch ratio* dan jumlah daun *propeller*[26] Dalam *engine propeller matching* dapat dihitung dengan persamaan 12 [4].

$$B_{p1} = \frac{N_{propeller} \times P_d^{0,5}}{V_a^{2,5}} \quad (12)$$

Dimana N adalah putaran *propeller*, P adalah SHP mesin, Va adalah kecepatan air masuk. Selanjutnya melakukan pengolahan data dari hasil pembacaan diagram *open water test* dari diagram *open water* dapat analisis

menggunakan persamaan  $K_T$   $K_Q$   $J$  pada persamaan 13 [27].

$$K_T = K_t \times J^2 \quad (13)$$

$K_T$  adalah *koefisien thrust*,  $J$  adalah koefisien air masuk/koefisien *advanced*

Pada putaran *propeller* ( $n$ ) diperoleh putaran mesin dengan *ratio gearbox* digunakan untuk gaya dorong yang diterima *propeller* dapat dihitung menggunakan persamaan 14 – 17 [22]

$$Q_{prop} = K_q \times p \times n^2 \times D^5 \quad (14)$$

$$DHP = 2\pi \times Q \times n \quad (15)$$

$$SHP = DHP/0,98 \quad (16)$$

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_g} \quad (17)$$

- **Konsumsi Bahan Bakar**

Dari hasil *matching point* mesin dengan *propeller* dapat dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar untuk menghemat biaya operasional kapal [28]. Dalam situasi ini bahan bakar mesin kapal dapat dihitung dengan persamaan 18 [29].

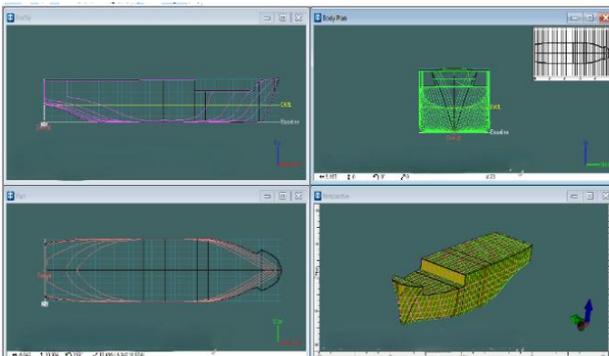
$$W_{fo} = BHP_{me} \times b_{me} \times V_s \times 10^{-6} \times C \quad (18)$$

Terdapat  $W_{fo}$  adalah berat bahan bakar mesin induk (ton/jam),  $BHP_{me}$  adalah daya mesin induk,  $b_{me}$  adalah spesifikasi bahan bakar mesin induk (g/kWh),  $V_s$  adalah kecepatan dinas,  $C$  adalah koreksi cadangan (1,3 – 1,5).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Validasi Pemodelan

Berdasarkan data yang sudah terkumpul, dibuat sebuah pemodelan dengan menggunakan software *maxsurf modeler*. Berikut adalah keterangan pemodelan yang sudah dibuat 3D dari data *linesplan* :



Gambar 2 pemodelan kapal pada software *maxsurf*

Gambar 2 merupakan *pemodelan* yang digunakan sebagai langkah pertama untuk mengetahui hambatan yang dialami oleh kapal saat bergerak di air, tujuan utama dari pemodelan ini adalah untuk memahami hidrodinamika kapal, untuk dapat mengoptimalkan desain lambung dan mengetahui kinerja kapal secara keseluruhan dan lebih efisien. Langkah tersebut dapat dilakukan dengan mengimpor file CAD kapal dari perangkat lunak lain seperti Rhino.

#### 3.2. Hambatan

Setelah *hull form* telah dimodelkan lalu, dapat mengetahui hambatan dengan menggunakan *maxsurf resistance*. Pada *maxsurf resistance* menggunakan metode numerik untuk menghitung hambatan yang timbul oleh gesekan air pada permukaan kapal dan hambatan lainnya. Hambatan – hambatan ini dapat berdampak pada efisiensi operasional dan keberlanjutan layanan transportasi laut dan memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap perekonomian dan antar wilayah. Untuk menganalisa hambatan kapal dengan metode *Holtrop*, kapal perintis KM. Sabuk Nusantara 500 DWT diuji dengan variasi kecepatan 12 knot. Hasilnya adalah 56,2 kN pada kecepatan 12 knot dan *power* 346,843 kW.

#### 3.3. Perhitungan Daya Mesin

Hasil perhitungan hambatan kapal memungkinkan untuk menentukan daya mesin yang optimal. Namun, penting untuk diingat bahwa daya mesin yang diperlukan akan sesuai dengan perubahan kondisi operasi. Hal ini mengindikasikan pentingnya sistem propulsi yang fleksibel dan efisiensi untuk sistem mengatasi hambatan dan menggerakkan kapal.

##### 3.3.1. Efektive Horse Power (EHP)

Daya efektif (EHP) kapal yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menghitung hasil nilai hambatan menggunakan persamaan 3.

$$\begin{aligned} EHP &= 64,6 \times 6,1728 \\ &= 398 \text{ kW} \\ &= 535 \text{ HP.} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas mendapatkan nilai EHP sebesar 398 kW atau setara dengan 535 HP yang berarti daya tersebut dari mesin utama berhasil diubah menjadi gaya dorong yang efektif untuk menggerakkan kapal, nilai EHP itu sendiri dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang berkaitan dengan kapal maupun kondisi operasinya.

### 3.3.2. Wake Fraction (*w*) dan Thrust Deduction Factor (*t*)

Wake fraction adalah perbandingan antara kecepatan kapal dan kecepatan air yang menuju ke *propeller*. Hal ini dihitung dengan menggunakan rumus dari Taylor's, yang ditemukan dalam persamaan 4.

$$\begin{aligned} cb &= 0,64 \\ w &= 0,5 \times 0,64 - 0,05 \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

Nilai *t*, berdasarkan hubungan rumus *t*, adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} k &= 0,7 - 0,9 \\ k \text{ diambil} &= 0,8 \\ t &= 0,8 \times 0,27 \\ &= 0,216 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai  $t = 0,216$ . Nilai *t* ini menunjukkan gambaran buritan pada kapal perintis

### 3.3.3. DHP dan SHP

Dalam metode *holtrop* perhitungan SHP dan DHP mempertimbangkan efisiensi propulsi dan propulsive coefficient (*pc*). Nilai SHP dihitung berdasarkan daya yang diperlukan untuk mengatasi *resistance* kapal (EHP) dan efisiensi propulsi, sedangkan DHP dihitung dengan mempertimbangkan *pc* dengan perhitungan persamaan 8.

$$\begin{aligned} Pc &= 1,0740 \times 1,02 \times 0,40 \\ &= 0,4382 \end{aligned}$$

Setelah mengetahui *pc* maka DHP dapat dihitung dengan persamaan 7 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} DHP &= 398,8 / 0,4382 \\ &= 910,5 \text{ kW} \\ &= 534,75 / 0,4382 \\ &= 122,1 \text{ HP} \end{aligned}$$

Untuk menghitung *shaft horse power* (SHP) pada kapal yang letak mesinnya dibelakang mengalami *losses* sebesar 2% yang berarti harus memperhitungkan daya yang sampai ke poros *propeller* dalam hal ini maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9.

$$\begin{aligned} SHP &= 019,6 / 0,98 \\ &= 929,05 \text{ kW} \\ &= 122 / 0,98 \\ &= 1245,87 \text{ HP} \end{aligned}$$

Dari hasil diatas adanya *losses* 2% dalam perhitungan menunjukkan bahwa tidak semua daya

yang dihasilkan oleh mesin berhasil ditransmisikan ke poros *propeller*. Pada kapal perintis ini membutuhkan mesin yang mampu menghasilkan daya sebesar 929,05 kW atau 1245,87 HP untuk memenuhi kebutuhan propulsinya.

### 3.3.4. Brake Horse Power (BHP)

Adanya pengaruh efisiensi sistem gigi transmisi, pada kapal ini memakai roda gigi reduksi tunggal dengan *losses* 2% berarti sebagian daya yang dihasilkan oleh mesin akan hilang karena mekanisme dari sistem roda gigi untuk arah maju sehingga untuk memperhitungkan hal ini harus dimasukkan ke dalam perhitungan daya total mesin yang dapat dihitung dengan persamaan 11.

$$\begin{aligned} BHP &= 910 / 0,98 \\ &= 928 \text{ kw} \\ &= 1220 / 0,98 \\ &= 1245,290 \text{ HP} \end{aligned}$$

Dikarena kapal perintis 500 DWT adalah kapal *twin screw* dengan mesin ganda, perhitungan daya mesin kapal dan hambatan kapal dibagi dua, dan masing – masing dibebankan pada mesin yang sama.

$$\begin{aligned} BHP &= 928 / 2 \\ &= 464,307 \text{ kW} \\ &= 1245,290 / 2 \\ &= 622,645 \text{ HP} \\ \text{Toleransi} &= 464,307 \times 15\% \\ &= 533,953 \text{ kW} \\ &= 716,041 \text{ HP} \end{aligned}$$

Nilai toleransi adalah nilai maksimal untuk menentukan daya mesin yang akan dipilih dikarenakan apabila mesin dengan daya melebihi nilai toleransi maka, mesin mengalami *overpower* sehingga antara mesin dengan *gearbox* tidak *matching*.

Dari data kapal, maka mesin yang sesuai daya, yaitu dari segi efisiensi dan keekonomisan didapat BHP mesin induk 502 kW dan 673 HP dengan data mesin sebagai berikut :

- Merk mesin : Mitshubishi
- Type mesin : S6A3-T2MTK3M
- Daya mesin : 673 HP
- RPM : 1900 RPM
- Berat mesin : 2,130 kg
- Panjang : 2189 mm
- Lebar : 1127 mm
- Tinggi : 1421 mm

Didapat *gearbox* dari data kapal yang mencakup daya mesin untuk memastikan kinerja optimal dibawah ini adalah spesifikasi *gearbox* yang sudah sesuai dengan mesin :

- Type : DMT260H
- BHP : 639 HP
- Reduction ratio : 3,26
- Power faktor (kW/rpm) : 0,264
- Maximum RPM input : 2500
- Panjang : 653
- Lebar : 458
- Tinggi : 484
- Berat : 368

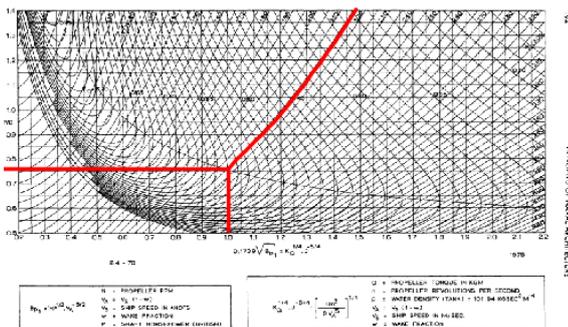
### 3.4. Menghitung BP

BP merupakan daya yang dibutuhkan untuk memutar *propeller*. Daya ini biasanya dihitung berdasarkan daya yang diberikan oleh mesin dengan memperhitungkan efisiensi dapat dihitung dengan persamaan 12.

$$BP = 552,09 \times 560,76^{0,5} / 8,76^{2,5} = 57,562$$

$$0,1739 \times \sqrt{Bp} = 1,3$$

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya yang diperlukan untuk mengoperasikan propeller adalah 1,3 Bp. Nilai ini diperoleh dengan mengperhitungkan torsi yang dihasilkan mesin dan kecepatan putaran propeller pada kecepatan 12 knot. dan daya sebesar itu mampu untuk mengatasi hambatan dan mendorong kapal dengan kecepatan maksimal 12 knot.



Gambar 3 diagram BP B4-70

Gambar 3 adalah Hasil nilai  $0,1739 \times \sqrt{Bp}$  diproyeksikan kedalam diagram BP1, hal ini untuk memotong nilai Bp1 dan ditarik garis pada nilai 1,3 kelintang keatas, sehingga mendapatkan P/D 0,70.

#### 3.4.1. Mencari $K_T$ - $K_Q$ - $J$

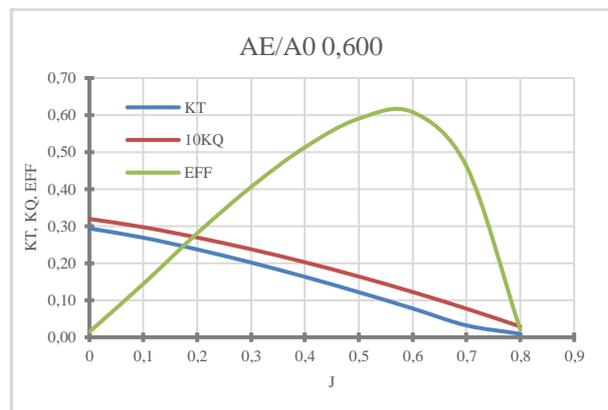
Dengan diketahuinya P/D melalui diagram BP, maka dibuatlah grafik pada J dan nilai  $K_T$   $K_Q$

Efisiensi untuk mengetahui *profiling propeller B-series* pada grafik J,  $K_T$ ,  $K_Q$ , Efisiensi merupakan alat untuk menganalisis kinerja propeller. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memilih *propeller* yang paling sesuai dengan memahami karakteristik kinerja propeller, kita dapat memilih *propeller* yang memiliki efisiensi tinggi, gaya dorong yang cukup, dan tahan terhadap kavitasi pada kondisi operasi yang diinginkan Nilai P/D yang diperoleh dari diagram BP juga mempunyai peran dalam proses *profiling* ini Pada  $A_e/A_o$  0,600 – 0,800 yang sudah ditentukan sebagai berikut :

Tabel 1  $K_T$   $K_Q$  Eff yang terbaik

J	0,6		
Ae/Ao	KT	KQ	EFF
0,600	0,08	0,12	0,61
0,700	0,07	0,12	0,59
0,800	0,07	0,12	0,55

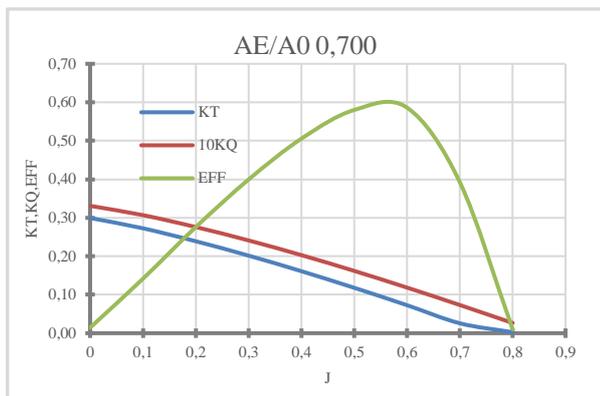
Pada tabel 1 mengidentifikasi bahwa untuk *propeller* dengan  $J = 0,6$ , nilai  $A_e/A_o$  sebesar 0,6 memberikan kinerja terbaik dengan efisiensi maksimum 0,61. Namun, untuk aplikasi praktis, pemilihan  $A_e/A_o$  tidak hanya didasarkan pada efisiensi, tetapi juga harus mempertimbangkan kondisi operasional kapal seperti beban, kecepatan, resiko kavitasi. Nilai  $A_e/A_o$  yang lebih tinggi mungkin diperlukan untuk memastikan *propeller* tidak mengalami kavitasi dalam kondisi beban berat atau kecepatan tinggi, meskipun dengan putaran efisiensi .



Gambar 4 Grafik Ae/Ao 0,600

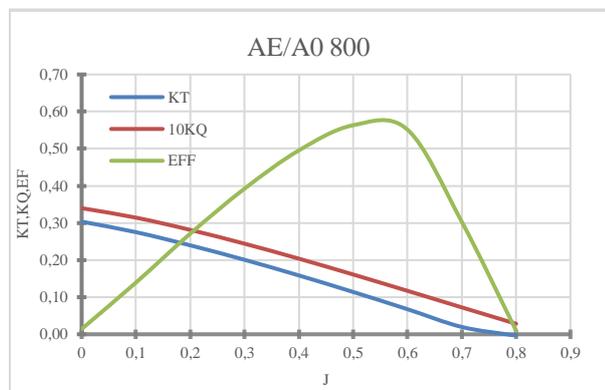
Pada gambar 4 diatas adalah gambar hasil pembacaan diagram *open water propeller* yang dimana nilai  $K_T$  0,08 yang disebabkan pada koefisien J,0,6 namun  $K_Q$  pada J,0,6 memiliki nilai 0,12 juga menunjukkan nilai koefisien torsi meningkat *propeller* bekerja lebih efisien dalam

memnhasilkan gaya dorong dan nilai eff pada J 0,6 adalah 0,61 hal ini menunjukkan bahwa propeller memberikan efisiensi terbaik



Gambar 5 Grafik Ae/Ao 0,700

Pada gambar 5 diatas adalah gambar hasil pembacaan diagram *open water propeller* yang dimana nilai  $K_T$  0,07 yang disebabkan pada koefisien J 0,6 namun  $K_Q$  pada J 0,6 memiliki nilai 0,12 juga menunjukkan nilai koefisien torsi meningkat *propeller* bekerja lebih efisien dalam memnhasilkan gaya dorong dan nilai eff pada J 0,6 adalah 0,59 hal ini menunjukkan bahwa propeller tidak menjadi nilai ideal untuk efisiensi maksimum.



Gambar 6 Grafik Ae/Ao 0,800

Pada gambar 6 diatas adalah gambar hasil pembacaan diagram *open water propeller* yang dimana nilai  $K_T$  0,07 yang disebabkan pada koefisien J 0,6 namun  $K_Q$  pada J 0,6 memiliki nilai 0,12 juga menunjukkan nilai koefisien torsi meningkat *propeller* bekerja lebih efisien dalam memnhasilkan gaya dorong dan nilai eff pada J 0,6 adalah 0,55 hal ini menunjukkan bahwa propeller tidak menjadi nilai ideal untuk efisiensi maksimum.

gambar 3, 4, dan 5 memperlihatkan grafik Ae/Ao yang dimana grafik tersebut adalah hasil dari mencari  $K_T$ ,  $K_Q$ , Eff dan nilai tersebut didapat pada

diagram *wageningen B-series* untuk masing – masing Ae/Ao yang sudah di tentukan.

### 3.5. Engine Propeller Matching

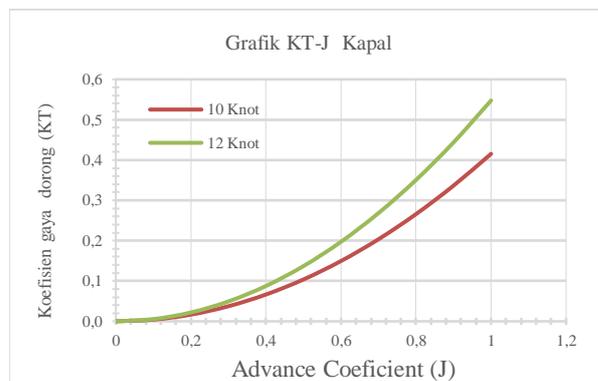
Pada dasarnya perhitungan *Engine Propeller Matching* bertujuan untuk menentukan *matching point* antara mesin dan *propeller*. *Matching point* adalah titik operasi putaran motor penggerak kapal sampai titik beban *propeller* sama dengan putaran motor, yang menghasilkan kecepatan *service* kapal yang dirancang. Perhitungan Ae/Ao digunakan untuk menghitung BP – delta. Hasil perhitungan diperoleh nilai berikut :

$R_{trial}$	= 29,6 kN
$R_{service}$	= 56,2 kN
$V_s$	= 10 knot
	= 5,144 m/s
$V_s$	= 12 knot
	= 6,1728 m/s
T	= 0,216
W	= 0,27
$V_a$	= 4,506

Setelah data yang sudah diperoleh dibawah ini juga terdapat data propeller :

Tipe	= B4-70
Diameter	= 1,29 m
RPM	= 552,09
Rps	= 9,2
$\eta_o$	= 0,61
P/D	= 0,70

Dari data diatas dapat melakukan perhitungan engine propeller menggunakan persamaan kurva  $K_T - J$ .  $K_T$  adalah *koefisien thrust* dari geometri propeller dan kondisi aliran di sekitar *propeller*, nilai  $k_t$  sendiri dapat diperoleh dari grafik atau tabel karakteristik *propeller* J adalah *koefisien advance* yang menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan dari kecepatan terhadap gaya dorong.



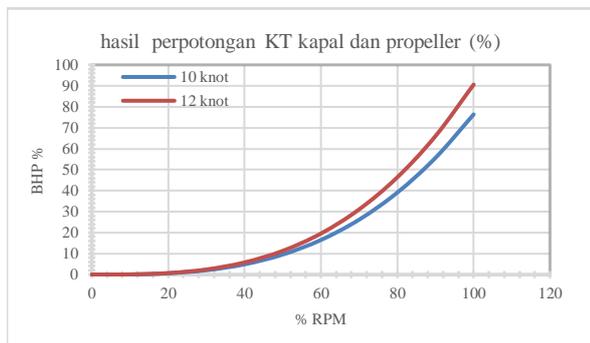
Gambar 7 Grafik K-J

Grafik pada gambar 7 menunjukkan kurva  $K_T - J$

dimana presentase efisiensi pada J pada 10 dan 12 knot menunjukkan bahwa kinerja kapal pada kecepatan 10 knot dan 12 knot. dapat dilihat pada kurva  $K_T - J$  berada diatas kurva kecepatan 10 knot hal ini menunjukkan pada kecepatan yang lebih tinggi, kapal membutuhkan gaya dorong yang lebih besar untuk mempertahankan kecepatan.

Dalam perhitungan *engine propeller matching* ini tahanan memiliki nilai yang berbeda. Yang terdapat pada persamaan 14 - 17

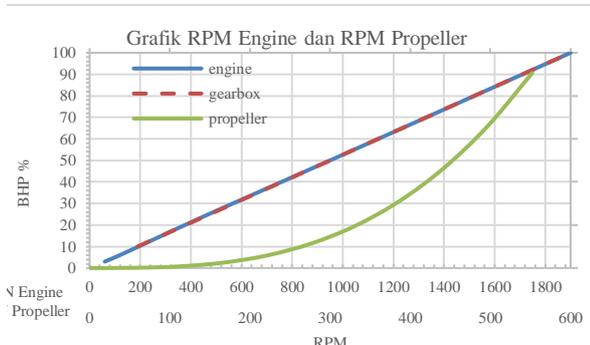
Dari hasil perhitungan dari persamaan diatas maka, perpotongan antara  $K_T$  kapal dan *propeller* dengan variasi kecepatan 10 dan 12 knot dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 8 Grafik  $K_T$  kapal dan propeller

Gambar 8 menunjukkan berdasarkan analisis grafik perpotongan  $K_T$  kapa dan propeller untuk kapal perintis ini menghasilkan 90% BHP hasil tersebut dapat mencapai kecepatan maksimal 12 knot. Dengan ini, diperkirakan konsumsi bahan bakar akan optimal dan daya dorong yang dihasilkan cukup mengatasi hambatan.

Setelah dilihat pada gambar 8 didapat diagram *envelope engine propeller matching* dibutuhkan batasan operasi yang aman bagi mesin dan propeller agar tetap berada pada matching point kapal perintis ini.



Gambar 9 Grafik *Engine Envelope*

Dapat dilihat pada gambar 9 merupakan analisis diagram envelope pada grafik menunjukkan bahwa sistem *engine propeler matching* dicapai ketika gearbox dan propeller berinteraksi secara optimal

pada titik tertentu. Untuk KM. Sabuk Nusantara 500 DWT, matching point ini terjadi pada RPM sekitar 1700 untuk mesin sesuai dengan daya yang diserap *propeller* menunjukkan bahwa *propeller* beroperasi dengan efisiensi tertinggi pada matching point. Hal ini dikonfirmasi oleh efisiensi bahan bakar sebesar 1,5 ton/jam pada kecepatan 12 knot dengan rasio gearbox 1:3,26 berperan penting dalam menurunkan RPM mesin ke tingkat optimal untuk *propeller*, memastikan *propeller* beroperasi dalam rentang efisiensi terbaik tanpa rasiko kavitasi.

### 3.6. Konsumsi Bahan Bakar kapal

Perhitungan konsumsi bahan bakar kapal digunakan mesin kapal dalam jangka waktu tertentu yang dipengaruhi oleh faktor dari jenis kapal, ukuran mesin, kecepatan kapal, cuaca hingga beban kapal yang dibawa. Konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan 18.

$$\begin{aligned}
 W_{fo} &= 502 \times 173 \times 12 \times 10^{-6} \times 1,5 \\
 &= 1,5 \text{ ton per jam pada 12 knot} \\
 &= 502 \times 173 \times 10 \times 10^{-6} \times 1,5 \\
 &= 1,3 \text{ ton/jam pada 10 knot}
 \end{aligned}$$

Jika kapal berlayar selama 6 jam dengan rute pelayaran Biak – Korido pada kecepatan 12 knot maka, bahan bakar yang dibutuhkan adalah 9,37 ton. Namun pada kecepatan 10 knot selamat 6 jam konsumsi bahan bakarnya 7,81 ton. Dari hasil diatas menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah (10 knot) sistem propulsi lebih hemat bahan bakar, sebaliknya pada kecepatan 12 knot, meskipun konsumsi bahan bakar meningkat, pada kurva propeller menunjukkan peningkatan efisiensi daya yang signifikan pada rpm tinggi. Hal ini konsisten dengan karakteristik sistem propulsi dimana efisiensi *propeller* cenderung meningkat seiring bertambahnya kecepatan.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian *enigne propeller matching* dapat diambil kesimpulan bahwa perhitungan dengan mesin mitshubishi S6A3-T2MTK3M dengan daya 673 HP pada kecepatan maksimal sebesar 12 knot mendapatkan nilai hambatan menggunakan software maxsurf resistance menghasilkan hambatan 56,2 kN dan power 346,843 kW, EHP sebesar 535 HP, dengan propeller dari data kapal B4-70 dengan variasi  $A_e/A_o$  0,6 – 0,8 didapatkan P/D 0,70 menghasilkan nilai paling besar pada  $A_e/A_o$  0,6 dan diameter *propeller* 1,29 m. Dari hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan

optimasi lebih lanjut misalnya melakukan variasi pada diameter propeller untuk kinerja lebih baik pada kondisi yang berbeda. penelitian ini tidak hanya menyelaraskan propeller dengan mesin namun juga mendukung keberlanjutan untuk pengurangan biaya operasional dalam jangka panjang.

Dari analisis *enigne propeller matching* diperoleh  $\eta_o$  0,61,  $\eta_B$  0,408,  $\eta_R$  1,02 pada  $J$  0,6 dengan kecepatan 12 knot mesin beroperasi pada 90% BHP, artinya mesin bekerja cukup berat untuk mencapai kecepatan tersebut. Sementara pada kecepatan 10 knot, beban mesin turun menjadi 76% BHP dengan putaran mesin 1700 RPM, *gearbox ratio* 1 : 3,26, dan kondisi operasi dimana efisiensi propulsi dan beban mesin seimbang.

Berdasarkan perhitungan konsumsi bahan bakar mendapatkan 1,5 ton/jam saat beroperasi pada kecepatan 12 knot. hal ini menunjukkan kapal memiliki konsumsi bahan bakar yang relatif tinggi namun pada kecepatan 10 knot menurun menjadi 1,3 ton/jam. Perbedaan konsumsi ini menunjukkan bahwa pada kecepatan 10 knot dapat mengurangi konsumsi bahan bakar yang akan berdampak langsung pada penghematan biaya operasional kapal.

## 5. SARAN

Hasil penelitian ini yang dilakukan penulis, ada hal yang dapat dikembangkan untuk dijadikan penelitian dikemudian hari. Perlu dilakukan analisis optimasi lebih lanjut dengan menggunakan berbagai tipe mesin dan *propeller* untuk meningkatkan efisiensi pada kondisi operasi yang berbeda dan mengintegrasikan analisis efisiensi bahan bakar dalam berbagai kondisi operasional untuk mengidentifikasi kecepatan ekonomis terbaik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soeratin Aat And Rachmansyah Donny, *Tepian Tanah Air*. Jakarta : Pt Kompas Media Nusantara , 2024.
- [2] F. Simanjuntak, S. Samuel, P. Manik, E. S. Hadi, And W. Amiruddin, "Analisis Pengaruh Penggunaan Ulstein X-Bow Pada Kapal Perintis Type 750 Dwt Terhadap Nilai Hambatan Dengan Metode Computational Fluid Dynamics," *Jurnal Rekayasa Hijau*, Vol. 5, No. 3, Pp. 248–266, Mar. 2022.

- [3] Suroyo, B. Ferdinan Nugroho Laim, D. Yosep Milanda, And A. Aji Nurdiantoro, "Strategi Pemanfaatan Kapal Latih Frans Kaisiepo Sebagai Kapal Perintis Untuk Mendukung Program Tol Laut," 2023.
- [4] Prihandanu Riyan And Baidowi Achmad, *Sistem Propulsi Dan Engine Propeller Matching*, 1st Ed. Yogyakarta: Cv. Bintang Semesta Media , 2022.
- [5] N. B. Prasetyo, U. Budiarto, And D. Chrismianto, "Analisis Perbandingan Engine Propeller Matching Antara Single Screw Propeller Dan Twin Screw Propeller Pada Kapal Tanker 6500 Dwt," *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 8, No. 3, 2020.
- [6] R. Rachman, E. Pranatal, And Dan S. Pramudya Imawan, "Analisis Perbandingan Metode Simulasi Software Maxsurf Dengan Metode Matematis Untuk Perhitungan Hambatan Dan Daya Mesin Utama Kapal Tanker 6500 Dwt," 2020.
- [7] 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," Apr. 2021.
- [8] A. J. Sudaryono And E. Pranatal, "Analisis Engine Propeller Matching Pada Kapal X Akibat Modifikasi Lambung Untuk Mendapatkan Sistem Propulsi Yang Optimal," 2024.
- [9] F. Laamena And L. Watimury, "Analisa Engine Propeller Matching Km. Sunlia 490 Gt Akibat Pergantian Mesin Induk, 2023.
- [10] W. Frederick And N. Y. J. Wiley, "*The Resistance And Propulsion Of Ships / By William F . Durand .,*" First Edition. Chapman & Hall, Limited, 1898.
- [11] F. A. Kurinawan And E. Pranatal, "Analisa Perhitungan Tahanan Kapal Tunda Karya

- Pacific 17 Dengan Menggunakan Perbandingan Antara Metode Holtrop Dan Software Maxsurf,” 2024.
- [12] Pramono Sri And Pangidoanta Torkis A, “Analisa Perhitungan Daya Mesin Kapal Menggunakan Metode Guldhamer-Harvald,” Vol. Vol 21, 2021.
- [13] M. Sawal Baital, K. Priohutomo, J. Prajayastanda, S. Djazuli, And S. ' Id, “Pengaruh Thrust Deduction Factor Dan Wake Fraction Terhadap Efisiensi Propulsi Akibat Perubahan Sarat Air Kapal,” 2021.
- [14] Prasetyo Dwi, *Teori Permesinan Kapal Semester Viii*, 1st Ed. Semarang: Politektik Ilmu Pelayaran, 2020.
- [15] A. Harvald, *Tahanan Dan Propulsi Kapal*. Surabaya : Airlangga University Press, 1992.
- [16] D. A. Ayuningtyas, Z. Z. Sanjiwo, And A. Kurniawan, “Penentuan Dimensi Dan Jenis Propeller Kapal Ikan Untuk Menghasilkan Sistem Propulsi Yang Optimal,” 2024.
- [17] A. T. Januar And A. Winarno, “Pengaruh Penerapan Energy Saving Device (Esd) Kort Nozzle Untuk Meningkatkan Gaya Dorong Propeller Pada Kapal Ikan Purse Seine,” Vol. 7, No. 1, 2023.
- [18] Parihandunu B And Baidowi A, *Sistem Propulasi Dan Engine Propeler Matchine*. . Yogyakarta : Bintang Semesta Media, 2021.
- [19] S. Pardomuan Sitorus And U. Budiarto, “Perancangan Propeller Dan Engine Propeller Matching Pada Kapal Self Propelled Oil Barge (Spob) 5000 Dwt,”2020.
- [20] R. Azis Nabawi, Y. Arbi, F. Prasetya, And Khairuni Delfi Anisa, “Analisis Sistem Propulsi Kapal Wisata Tenaga Surya,” 2020.
- [21] W. Setiawan *Et Al.*, “Desain Kapal Penangkap Ikan Multipurpose 70 Gt,”2018.
- [22] V Edwarrrd And Lewis, *Principles Of Naval Architecture Second Revision* . Jersey City : The Society Of Naval Architects And Marring Engineers, 1988.
- [23] F. Chandra Mukti, E. Julianto, A. Gafur, And Studi Teknik Permesinan Kapal, “Analisa Pemasangan Sistem Penggerak Pada Kapal Crane Barge Dengan Propulsi Elektrik,” 2020.
- [24] Priohutomo Kusnindar, Suwarni Endah, And Wijaya Cakra, “Analisa Tahanan Dan Daya Mesin Pada Kapal Mini Lng Berbasis Simulasi Numerik,” 2021.
- [25] A. I. Ramadhan, T. Djunaedi, And I. Firmansyah, “Analisis Performansi Bahan Bakar Premium Dan Pertamina Dengan Ring Bensin Option R Terhadap Daya Dan Torsi Pada Sepeda Motor 4 Tak,” 2022.
- [26] W. Slamet, Arief Ruslan, And S. Priyonggo, “Perancangan Dan Penggambaran Propeller Dengan Pendekatan Software Hydrocomp Propcad,” 2022.
- [27] R. Kurniadhani Atmaja, A. Gafur, And B. Antoko, “Perencanaan Main Engine Dan Propeller Pada Kapal Pencalang 15 Gt,” 2023.
- [28] N. Almuzani, B. Wahyudi, And I. Fachruddin, “Analisis Konsumsi Bahan Bakar Kapal Niaga Berdasarkan American Society For Testing Materials The Institute Of Petroleum (Astm-Ip),” *Dinamika Bahari*, May 2020.
- [29] Prasutiyon Hadi, Sugianto Erik, And Dwissetiono, *Perancangan Sistem Penggerak Hybrid Untuk Kapal Ikan Purse Seine*. Pekalongan: Pt Nasya Expanding Management , 2024.