

Analisis Karakteristik Dan Engine Propeller Matching Pada Propeller B5-80 Dengan Variasi Sudut Skew Pada Kapal Kreso Container (KCS) 230m

Rayhan Rhamadani^{1*}, Dr. Agung Purwana², Benedicta Dian Alfanda³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*2 3}

Email: rayhanrhamadani@student.ppns.ac.id

Abstract - The issue of fuel usage occurs a lot on today in large ships, including the KCS ship. And the B5-80 propeller was chosen as the object because it has good efficiency and performance. the skew angle modification is carried out on this propeller to reduce the pressure on the propeller. the high skew angle is believed to increase efficiency compared to conventional propellers. In addition, engine propeller matching is carried out to find the optimal operating point between engine load and propeller rotation. *epm* calculation aims to achieve the planned service speed. Purpose of this research received the performance of the propeller and KCS ship with the best efficiency so that it can reduce fuel use in the world, CFD simulation is used as an analysis method as a description of fluid distribution flow to obtain propeller performance with variations in skew angle, thereby obtaining propeller recommendations with the best skew angle and optimal *epm* calculation.

Keyword: KCS, Skew, Propeller, CFD, EPM

Nomenclature

KT	: Koefisien dorong
KQ	: Koefisien torsi
J	: Koefisien <i>advanced</i>
Va	: Kecepatan <i>advanced</i> (m/s)
D	: Diameter propeller (m)
n	: Putaran (rpm)
T	: Gaya dorong / Thrust (N)
Q	: Torsi / Torque (Nm)
η_o	: Efisiensi open water
ρ	: Massa jenis air laut (kg/m ³)
π	: Pi
g	: gravitasi bumi (m/s ²)

1. PENDAHULUAN

Sistem propulsi merupakan salah satu sistem penunjang kinerja pada kapal, yang disesuaikan dengan jenis kapal dan karakteristiknya. Alat gerak mekanik pada kapal merupakan *propeller*. Dalam pemilihan *propeller* harus mempertimbangkan performanya menyesuaikan dengan jenis dan tipe kapal tersebut. Performa sendiri merupakan nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency* pada kondisi *open water test* yang ditunjukkan pada diagram KT – KQ – J[1].

Setiap *propeller* memiliki karakteristik dan performa yang berbeda. Nilai *thrust* yang optimal pada saat putaran *propeller* berhubungan desain *propeller* yang baik. Dengan nilai *thrust* yang tinggi diharapkan nilai *torque* lebih rendah sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh *propeller* menjadi lebih tinggi[2].

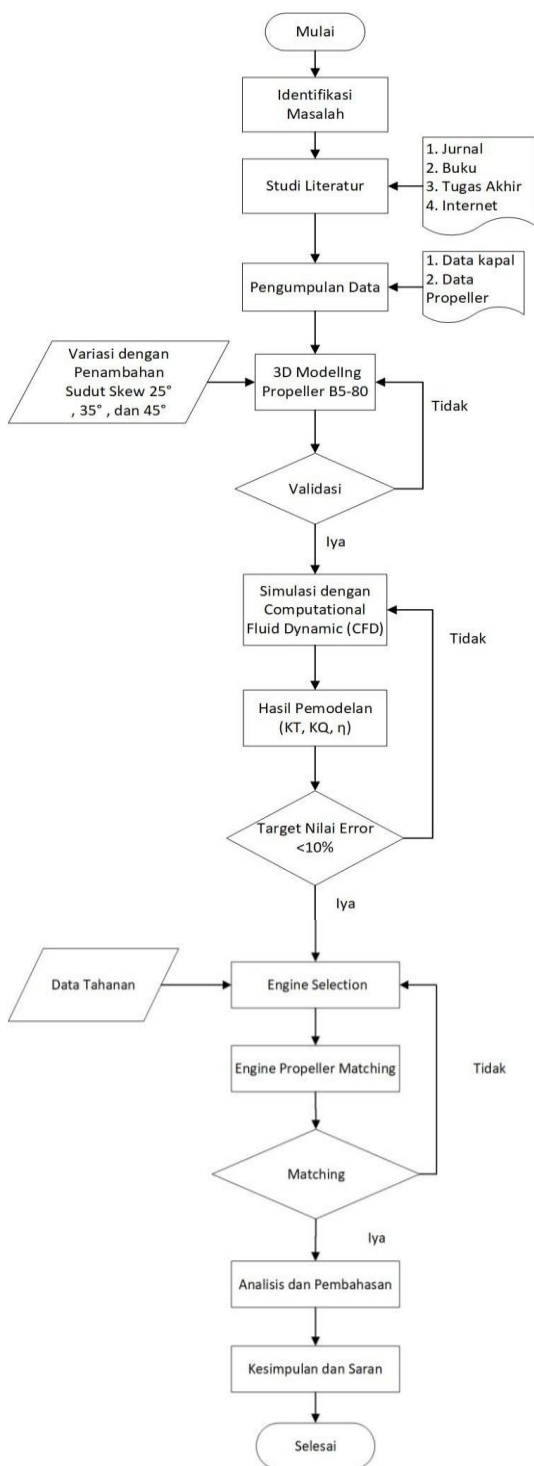
Propeller B5-80 dipilih karena memiliki *blade area ratio* besar dengan tujuan kavitasi sangat rendah yang berdampak pada *noise* saat beroperasi. Selain desain dan merancang *propeller* yang baik, disisi lain juga memperhatikan *matching*nya dengan mesin.

Engine Propeller Matching (EPM) bertujuan mencari *matching point* yang merupakan titik operasi dari putaran mesin penggerak kapal sesuai dengan karakteristik beban *propeller*, dimana titik operasi putaran mesin yang diterima oleh *propeller* sama dengan tenaga yang dihasilkan oleh mesin dan menghasilkan kecepatan kapal yang mendekati kecepatan servis kapal yang direncanakan[3].

Dengan demikian penelitian ini menganalisis perbedaan performa yang dihasilkan mendesain *propeller* B5-80 dengan menggunakan variasi sudut *skew* 25°, 35°, dan 45° serta *engine propeller matching* pada kapal KCS melalui simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic). Dengan menggunakan simulasi CFD dapat memberikan gambaran mengenai distribusi aliran fluida yang terjadi dengan kondisi serta variasi yang telah ditentukan, sehingga dari gambaran tersebut dapat dianalisis mengenai aliran fluida pada *propeller* tersebut. Sehingga dengan melakukan simulasi CFD kita bisa mengurangi kerumitan dan biaya yang diperlukan untuk melakukan uji *Propeller* di air terbuka dan juga dapat mempersingkat waktu penelitian yang dibutuhkan untuk menganalisis performa suatu *propeller*.

2. METODOLOGI

Berikut langkah-langkah agar penelitian dapat berjalan dengan sistematis.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian

Data utama *propeller* dari penelitian ini diperoleh dari jurnal “Analisa Pengaruh Modifikasi Sudut Skew Propeller B5-80 Terhadap Umur Kelelahan Pada Kapal Kriso Container 3600 TEUs” dan dipilih *propeller* B5-80, lalu data utama kapal KCS diambil dari website “MOERI” dan diuji oleh “ITTC”

1. Ukuran *B5-80 Propeller* yang digunakan pada penelitian sebagai berikut :

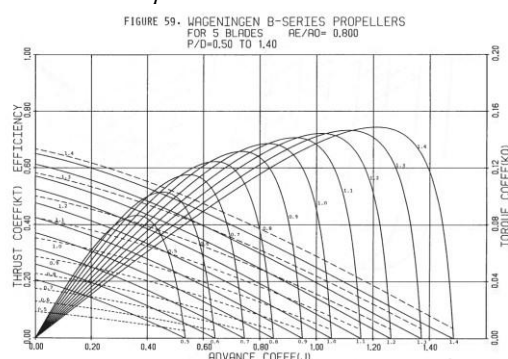
Jenis	=	B-Series
Type	=	FPP
Diameter	=	7,9 m
Jumlah Daun	=	5
AE/AO	=	0,8002
P/D	=	0,99
Sudut Skew	=	15,5°
Arah putar	=	clockwise
Hub Ratio	=	0,18

2. Ukuran kapal *kriso container ship (KCS)* model yang di uji sebagai berikut:

tabel 2. 1 *Principal Dimension Kriso Container Ship*

Main Characteristics	Full Scale	Model Scale (1:65,67)
Length over all, <i>LOA</i> (m)	243.84	3.713
Length of waterline, <i>LWL</i> (m)	232.5	3.54
Length between perpendiculars, <i>LBP</i> (m)	230.0	3.502
Beam, <i>B</i> (m)	32.2	0.49
Depth, <i>D</i> (m)	19.0	0.289
Draft, <i>T</i> (m)	10.8	0.164
Longitudinal centre of buoyancy, <i>LCB</i> (m)	111.596	1.699
Volumetric displacement, <i>N</i> (m ³)	52030	0.837
Hull wetted surface, <i>S</i> (m ²)	9424.0	2.185
Speed, <i>v</i>	24 Kn	1.523 m/s
Froude number, <i>Fn</i>	0.26	0.26
Block coefficient, <i>CB</i>	0.6505	0.6505
Midship section coefficient, <i>CM</i>	0.985	0.985

Pada umumnya, *open water test* digunakan untuk menganalisis karakteristik dari *propeller* kapal. Dalam kondisi tersebut, disajikan pada diagram *KT – KQ*. Perbandingan perhitungan *thrust* dan *torque* dengan hasil simulasi CFD dilakukan untuk mencari nilai persentase *error* sebagai validasi nilai *thrust* dan *torque*. *Error* nilai *thrust* dan *torque* tidak lebih dari 10%.

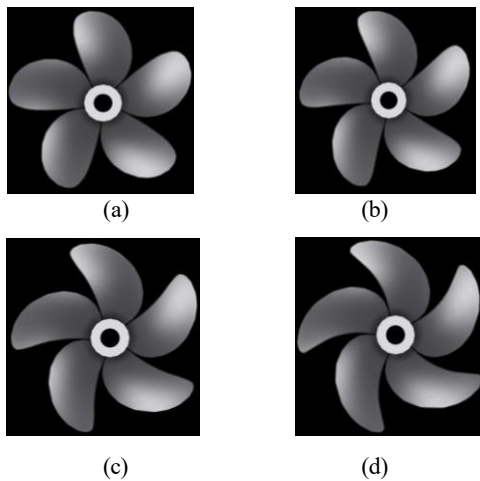


Gambar 2. 2 Grafik *KT KQ J B5-80*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan Propeller

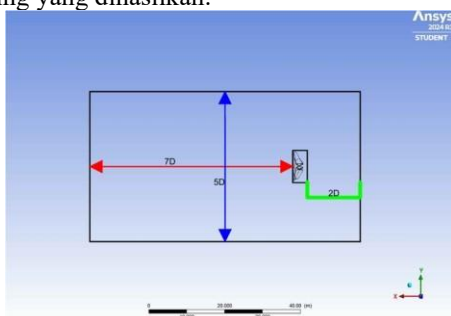
Pemodelan *propeller* untuk simulasi menggunakan 2 *software*, yaitu *PropCad* dan *SolidWork*. Berikut hasil pemodelan yang telah dimodelkan.



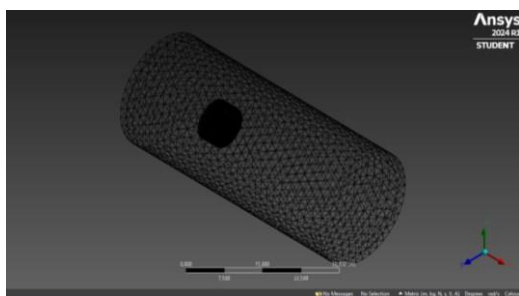
Gambar 3.1 (a)Skew 15,5°(b)skew 25°(c)skew 35°(d)skew 45°

3.2 Geometri & Meshing

Hasil dari proses pemodelan bisa ditambahkan domain *static* dan domain *rotating* lalu dirubah ketahap meshing. Meshing yang telah dilakukan berupa statistik ukuran serta jumlah node dan element serta ukuran meshing sizing yang dihasilkan.



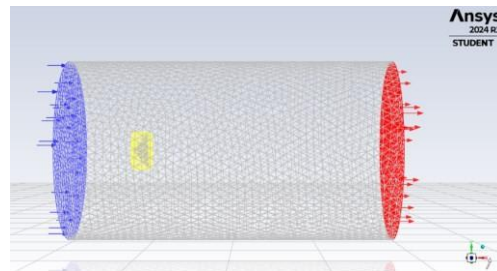
Gambar 3.2 Ukuran Domain Pengujian



Gambar 3.3 Meshing

3.3 Set-up

Tahap set-up merupakan tahap pendefinisian boundary condition atau kondisi batas yang dibuat untuk mengetahui nilai karakteristik dari *propeller* dan fluida yang bekerja, sehingga mendekati dengan kondisi sebenarnya. Pada tahap pendefinisian boundary condition ini meliputi inlet, outlet, dan wall.



Gambar 3.4 Penentuan Aliran Pada Set-Up

3.4 Result

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari simulasi. Hasil *torque* dan *thrust* dari propeller B5-80 skew 25° dengan kecepatan 117 rpm dan Vs 12,346 m/s dengan nilai J 0,8 didapatkan nilai thrust sebesar 1848,438 kN dan nilai torque sebesar 3052,44 Nm, untuk hasil uji simulasi Propeller B5-80 dapat dilihat pada Gambar berikut.

Force	[N]
propeller	1848438
Moment	[N m]
propeller	3052440

Gambar 3.5 Hasil Simulasi Thrust dan Torque

3.5 Validasi & Hasil Simulasi

Validasi hasil simulasi bertujuan untuk mengetahui keakuratan berdasarkan nilai *error*. Hasil simulasi dibandingkan dengan perhitungan dan pembacaan grafik karakteristik *propeller* B5-80. Berikut tabel nilai *error* pada J 0,7 skew 15,5° dengan perbandingan pembacaan grafik KT, KQ, J dan hasil simulasi dari propeller skew 15,5°, 25°, 35°, dan 45°.

Tabel 3. 1 Persentase *error* J 0,7 skew 15,5°

Validasi	Perhitungan	Simulasi	Error (%)
Thrust	3681351	3461562	5,98
Torque	5030517	5021725	0,17
KT	0,185	0,714	5,98
KO	0,32	0,319	0,17

Dengan data hasil simulasi sebagai berikut;

Tabel 3. 2 Hasil simulasi skew 15,5°

J	Thrust (N)	Torque (N)	KT	KQ	η
0,5	10564191	13483242	0,271	0,438	0,493
0,6	6048249	8143795	0,223	0,381	0,560
0,7	3461562	5021725	0,174	0,319	0,607
0,8	1854359	3023118	0,122	0,251	0,617

Tabel 3. 3 Hasil simulasi skew 25°

J	Thrust (N)	Torque (N)	KT	KQ	η
0,5	10737636	13811742	0,275	0,448	0,489
0,6	6123266	8305133	0,226	0,388	0,556
0,7	3482435	5094152	0,175	0,324	0,602
0,8	1848438	3052440	0,121	0,254	0,609

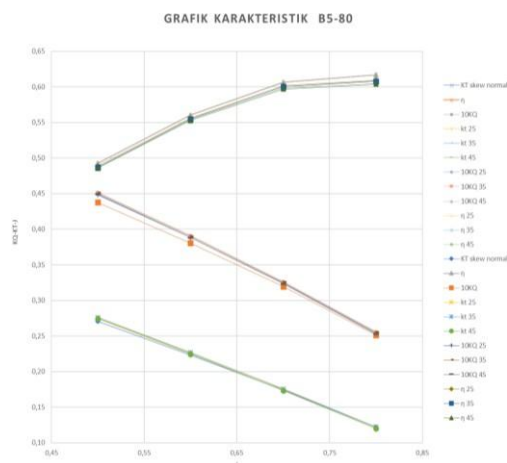
Tabel 3. 4 Hasil simulasi skew 35°

J	Thrust (N)	Torque (N)	KT	KQ	η
0,5	10771981	13908734	0,276	0,451	0,487
0,6	6144210	8357280	0,227	0,391	0,555
0,7	3494055	5125532	0,176	0,326	0,600
0,8	1860648	3079209	0,122	0,256	0,608

Tabel 3. 5 Hasil simulasi skew 45°

J	Thrust (N)	Torque (N)	KT	KQ	η
0,5	10706596	13855390	0,275	0,450	0,486
0,6	6087856	8306552	0,225	0,388	0,553
0,7	3452227	5087829	0,173	0,324	0,597
0,8	1827979	3044368	0,120	0,253	0,604

Dari tabel hasil simulasi tersebut dapat digambarkan grafik seperti berikut;



Gambar 3.6 Grafik Hasil Simulasi KT, KQ, Efficiency

Dari hasil simulasi *propeller* B5-80 dengan skew 35° memiliki nilai koefisien *thrust* paling tinggi dibandingkan *propeller* lain.

3.6 Perhitungan Tahanan dengan penskalaan dimensi

Perhitungan tahanan dapat diselesaikan dengan rumus pada buku “SHIP RESISTANCE & PROPULSION” hal 419. Berikut perhitungan tahanan dengan penskalaan model.

$$C_{T\text{model}} = 2,741 \times 10^{-3}$$

$$C_{F\text{model}} = 1,376 \times 10^{-3}$$

$$C_{R\text{model}} = C_{T\text{model}} - C_{F\text{model}} = 0,777 \times 10^{-3}$$

$$R_{e\text{ kapal}} = V_s \frac{L}{v}$$

$$= 12,345 \frac{230}{1,190 \times 10^{-6}}$$

$$= 2,386 \times 10^9$$

$$C_{F\text{ kapal}} = 0,075 / (\log R_e - 2)^2$$

$$= 1,377 \times 10^{-3}$$

$$C_{V\text{ kapal}} = (1+k) \cdot C_F$$

$$= 1,185 \times 1,377$$

$$= 1,6317$$

$$C_{W\text{ kapal}} = C_{Wm}$$

$$= 1,365$$

$$C_{T\text{ kapal}} = C_{V\text{ kapal}} + C_{W\text{ kapal}}$$

$$= 1,6317 \times 10^{-3} + 1,365 \times 10^{-3}$$

$$= 2,9967 \times 10^{-3}$$

Tahanan Total Kapal

$$R_{T\text{ kapal}} = C_{T\text{ kapal}} \times \frac{1}{2} \rho S V_s^2$$

$$= 2,996 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} 1025 \times 9,424 \times 12,345^2$$

$$= 2205 \text{ kN}$$

Dikarenakan kapal ditujukan pada rute pelayaran perairan asia timur maka dapat dikalikan (15% - 20%) untuk R_T dinas.

$$R_{T\text{ dinas}} = R_{T\text{ kapal}} \times 15\%$$

$$= 2205 \times 15\%$$

$$= 2536 \text{ kN}$$

Tabel 3. 6 Tabel tahanan disetiap kecepatan

Vs	m/s	RT (kN)	RT Dinas
1	0,514444	3,82954493	4,403977
3	1,543332	34,4659043	39,63579
6	3,086664	137,863617	158,5432
9	4,629996	310,193139	356,7221
12	6,173328	551,45447	634,1726
15	7,716660	861,647609	990,8947
18	9,259992	1240,77256	1426,888
21	10,803324	1688,82931	1942,154
24	12,346656	2205,81788	2536,691

3.7 Perhitungan Kebutuhan Daya Mesin Kapal

Setelah diketahui nilai tahanan total (R_T dinas) maka dapat mencari *engine* yang mencukupi. Berikut perhitungan daya kapal.

1. Effective Horse Power (EHP)

$$EHP = R_T \times V_s$$

$$= 2536 \times 12,34$$

$$= 31319 \text{ kW}$$

2. Thrust Horse Power (THP)

$$THP = \frac{EHP}{\eta_H}$$

$$= 22542 \text{ Kw}$$

3. Delivery Horse Power (DHP)

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_C}$$

$$= 39035 \text{ kW}$$

4. Shaft Horse Power (SHP)

$$SHP = \frac{DHP}{\eta_S}$$

$$= 39831 \text{ kW}$$

5. Brake Horse Power (BHP)

$$BHP_{SCR} = \frac{SHP}{\eta_G}$$

$$= 40644 \text{ Kw}$$

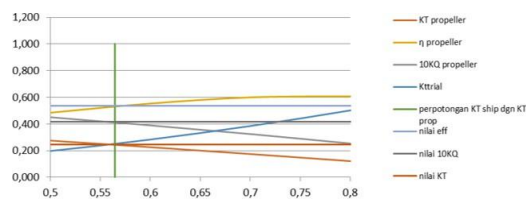
$$BHP_{SCR} = \frac{BHP_{SCR}}{0,85}$$

$$= 47817 \text{ kW}$$

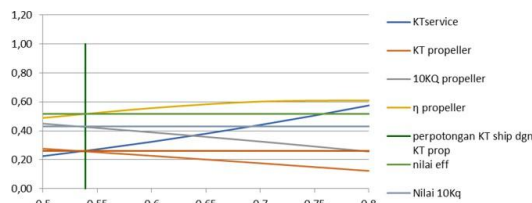
Jumlah *main engine* yang direncanakan 1 *Engine* dengan daya 48600 kW. Sehingga merk engine yang dipilih untuk kapal KCS adalah sulzer RTA-C dengan daya 48600 kW 102 rpm.

3.8 Engine Propeller Matching

Dari hasil simulasi *propeller* dipilih propeller B5-80 dengan *skew* 35° dikarenakan memiliki nilai *KT* paling optimum dibanding *propeller* lain. Selanjutnya mencari perpotongan *Kt trial* dan *Kt service* dengan kecepatan 24 knot dengan grafik hasil simulasi propeller B5-80. Berikut grafik perpotongan titik operasi propeller B5-80 *skew* 35°.



Gambar 3.7 Grafik titik operasi kondisi trial



Gambar 3.8 Grafik titik operasi kondisi service

Dari kurva di atas *KT hull* memotong *Kt propeller*, sehingga di dapat nilai *J* dan dari perpotongan tersebut ditambahkan garis vertikal untuk mendapatkan harga *KT*, *10KQ* dan efisiensi.

Kondisi clean hull	Kondisi rough hull
KT = 0,246	KT = 0,259
KQ = 0,0416	KQ = 0,0429
J = 0,565	J = 0,539
η = 0,535	η = 0,517

Dari nilai *J* yang di dapat diketahui jumlah *n* (putaran) propeller yang bekerja pada efisiensi tersebut.

Perhitungan *Va* (Advance Velocity)

$$\begin{aligned} V_a &= V_s \times (1 - w) \\ &= 12,346 \times (1 - 0,407) \\ &= 7,317 \text{ m/s} \\ &= 14,232 \text{ knot} \end{aligned}$$

1. Perhitungan rpm pada kondisi clean hull

$$\begin{aligned} n &= V_a / J \times D \\ &= 7,317 / 0,565 \times 7,9 \\ &= 1,64 \text{ Rps} (98,37 \text{ Rpm}) \end{aligned}$$
2. Perhitungan rpm pada kondisi rough hull

$$\begin{aligned} n &= V_a / J \times D \\ &= 7,317 / 0,539 \times 7,9 \\ &= 1,72 \text{ Rps} (103,11 \text{ Rpm}) \end{aligned}$$

Dari perhitungan rpm kondisi clean hull sudah sesuai dengan batasan rpm engine Sulzer yang memiliki 102 rpm maksimal. Pada kondisi rough hull rpm engine tidak tercapai. Berikut perhitungan matching point kondisi clean hull pada putaran 102 rpm.

1. Perhitungan rps (*radian per second*)

Clean hull

$$\begin{aligned} \text{rps} &= \frac{\text{rpm propeller}}{60} \\ &= 102 / 60 \\ &= 1,7 \text{ rps} \end{aligned}$$

2. Perhitungan *Propeller Torque*

Clean hull

$$\begin{aligned} Q &= (KQ \times \rho \times D b^5 \times n \text{ rps}^2) \\ &= (0,0429 \times 1025 \times 7,9^5 \times 1,7^2) \\ &= 3910,34 \text{ nm} \end{aligned}$$

3. Perhitungan DHP

Clean hull

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= (Q \times n \text{ rps} \times 2\pi) \\ &= (3901 \times 1,7 \times 2\pi) \\ &= 41746,78 \text{ kW} \end{aligned}$$

4. Perhitungan SHP

Clean hull

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= (\text{DHP} / 0,98) \\ &= (41746,78 / 0,98) \\ &= 42598,76 \text{ kW} \end{aligned}$$

5. Perhitungan BHPscr

Clean hull

$$\begin{aligned} \text{BHPscr} &= (\text{SHP} / 0,98) \\ &= (42598,76 / 0,98) \\ &= 43468 \text{ kW} \end{aligned}$$

6. Perhitungan BHPmcr

Clean hull

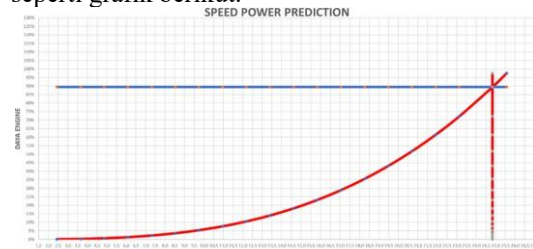
$$\begin{aligned} \text{BHPmcr} &= (\text{BHPscr} / 0,85) \\ &= (43468 / 0,85) \\ &= 51138,8 \text{ kW} \end{aligned}$$

7. Persentase BHPscr

Clean hull

$$\begin{aligned} n(\%) &= \left(\frac{\text{BHPscr}}{\text{BHPengine}} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{43468}{48600} \right) \times 100\% \\ &= 89,44 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat digambarkan seperti grafik berikut.



Gambar 3.9 speed power prediction

Dari perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan pada *matching point* operasional mesin rpm 102 memiliki persentase 89,44 % pada kondisi *clean hull* dengan kecepatan 24,84 knot

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian karakteristik propeller B5-80 dengan variasi sudut skew 15.5°, 25°, 35°, dan 45° serta engine propeller matching pada kapal KCS dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Pengaruh penambahan sudut skew pada propeller B5-80 berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan semakin besar sudut skew maka nilai thrust akan bertambah diikuti dengan nilai torque akan tetapi berbanding terbalik dengan nilai efisiensi propeller tersebut, namun pada propeller B5-80 dengan sudut skew 45° mengalami penurunan pada nilai thrust, torque dan effisiensinya. Dalam pengujian, propeller B5-80 tanpa modifikasi memiliki efisiensi paling tinggi sebesar 0,61 pada titik J 0.8 serta propeller B5-80 dengan variasi sudut skew 35° memiliki nilai thrust dan torque tertinggi sebesar 1860648 kN dan 3079209 Nm pada titik J 0.8.

2. Dalam engine selection, engine yang terpilih adalah Sulzer SRTA84C 102 rpm dengan pertimbangan daya sebesar 48.600 KW dengan putaran maksimal 102 rpm. Dari perhitungan Engine Propeller Matching yang telah dilakukan propeller B5-80 dengan pitch 0,99 dan diameter 7,9 meter masih belum bisa digunakan pada kondisi rough hull walaupun dengan penambahan variasi sudut skew dengan engine Sulzer SRTA84C 102 rpm. Engine Sulzer SRTA84C dapat mencukupi kebutuhan daya dan kecepatan maksimal Kapal KCS namun tidak mencukupi kebutuhan putaran propeller yang direncanakan

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, semangat, motivasi, kasih sayang, do'a selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Bapak Dr. Agung Purwana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I
3. Ibu Benedicta Dian Alfanda. selaku dosen pembimbing II
4. Kerabat dan sahabat seperjuangan Teknik Permesinan Kapal PPNS
5. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu – persatu yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setyabudi, P. B., Chrismianto, D., & Rindo, G. (2016). Analisa Nilai Thrust Dan Torque Propeller Tipe B-Series Pada Kapal Selam Midget 150M Dengan Variasi Skew Angle Dan Blade Area

Ratio (A_e/A_o) Menggunakan Metode Cfd. *Kapal*, 13(3), 109.
<https://doi.org/10.14710/kpl.v13i3.12352>

- [2] Simbolon, H., Trimulyono, A., & Rindo, G. (2015). Analisa Nilai Maximum Thrust Propeller B-Series Dan Kaplan Series Pada Kapal Tugboat Ari 400 Hp Dengan Variasi Diameter, Jumlah Daun, Sudut Rake Menggunakan Cfd. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(4), 394–404.
- [3] Habibi, & Nurhadi. (2016). *ANALISA PEMILIHAN PROPELLER TIPE B-SERIES PADA KAPAL FERI RO-RO 600 GT DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI MATCHPRO Selection Analysis of B-Series Propeller Type on Ferry Ro-Ro 600 GT Vessel using Matchpro Applications*. 75–81.