

Analisis Karakteristik Dan *Engine Propeller Matching* Pada *Propeller Gawn* Dengan Variasi Jumlah Daun Pada Kapal Kombatan 142 Meter

Muhammad Lukman Al Hakim^{1*}, Agung Purwana², Abdul Gafur³

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*,2,3}

Email: muhammad.lukman@student.ppns.ac.id¹; agung.purwana@ppns.ac.id²; abdulgafur@ppns.ac.id³

Abstract - DTMB 5415 is recommended by ITTC as a research vessel related to ship resistance and propulsion. Gawn Series propeller, can be applied to warships, especially combatants. Modification of the number of blade on the propeller from research that has been done can increase the thrust value on the propeller. The research was conducted by examining the resistance of combatant ships, and analyzes thrust, torque, and efficiency with variations in the number of blades. by using modeling software and Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation software. Propeller comparison on variations of 3, 4 and 5 blades, to get propeller recommendations with the best results then look for Engine selection and calculate Engine Propeller Matching (EPM). The result is the thrust and torque values produced increase with the increase on the number of blades at the same point j, while the resulting efficiency value decreases with the increase in the number of blades at the same j point., obtained the operating point (matching point) which produces the optimum speed obtained in the variation of 5 blade propeller with engine rotation conditions of 550 rpm, with power loading of 93.88% the ship's speed can reach 28 knots, and in the variation of 5 blade propeller with engine rotation conditions of 400 rpm, with power loading of 94.4% the ship's speed can reach 18 knots. So a 5-blade gawn propeller was selected.

Keyword: Number of Blades, Computational Fluid Dynamic (CFD), Engine Propeller Matching (EPM).

Nomenclature

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

1. PENDAHULUAN

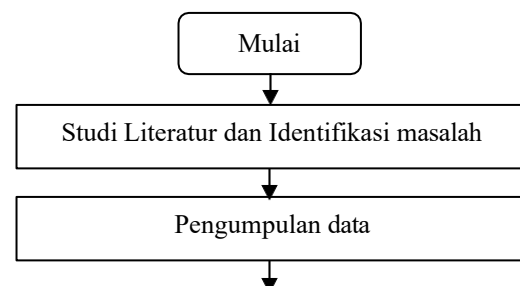
Kapal kombatan DTMB 5415 direkomendasikan ITTC sebagai kapal benchmark untuk perhitungan CFD (Computational Fluid Dynamics) terkait tahanan dan propulsi kapal [1]. Kapal kombatan harus memiliki kemampuan manuver yang baik, salah satu faktor yang mempengaruhi adalah alat penggerak (propeller), pemilihan jenis propeller yang efektif akan mempengaruhi gaya dorong yang dihasilkan pada kapal tersebut [2]. Salah satu jenis *propeller* adalah Gawn Series yang dapat diaplikasikan pada kapal perang, kapal kecil, dan kapal berkecepatan tinggi [3]. Modifikasi jumlah daun pada desain propeller merupakan salah satu persyaratan yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan

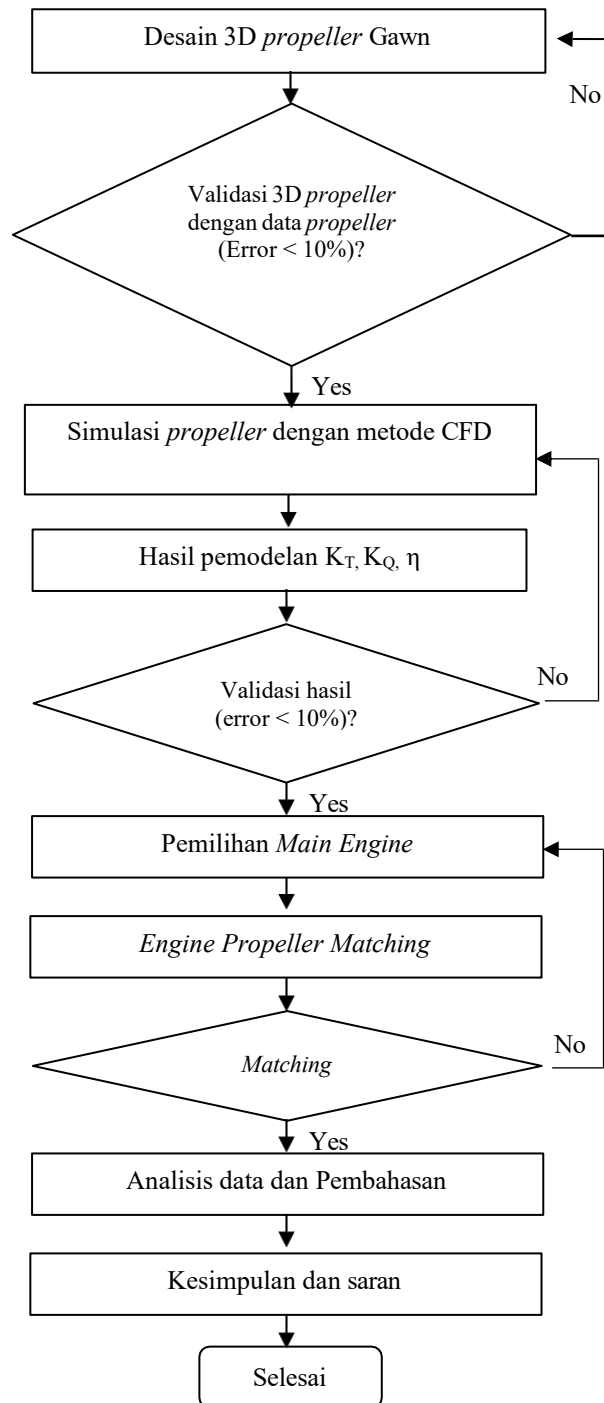
thrust maksimal, *thrust* dan *torque* akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah blade pada *propeller* [4].

Pada penelitian ini, dilakukan analisis mengenai performa propeller Gawn pada kapal DTMB 5415. Bertujuan untuk memaksimalkan kinerja *propeller*. Analisis ini menggunakan variasi penambahan jumlah *blade* (4 dan 5) dan tipe *propeller* Gawn. Penelitian ini menganalisis pengaruh perbedaan propeller dengan 3,4,5 blade terhadap nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency* pada propeller. Dalam penelitian ini, batasan masalah yang digunakan yakni diameter *propeller* yang digunakan 6,15 meter. Analisa dilakukan pada keadaan open water pada titik j 0,6 , 0,8 , 1 dan difokuskan pada *propeller*.

2. METODOLOGI

2.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk pembuatan 3D Model gawn propeller adalah ukuran utama dan desain propeller tersebut yang didapatkan dari jurnal [5]. Dari data ukuran utama tersebut, dapat dibuat 3D Model gawn propeller menggunakan bantuan software PropCad..

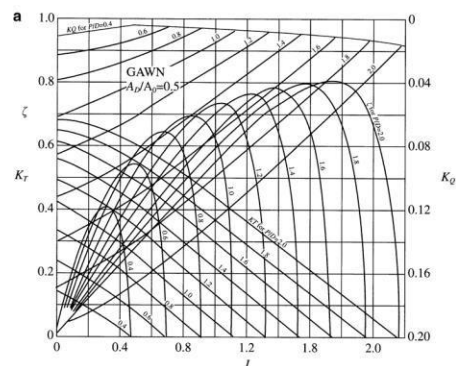
Tabel 1. Data Utama *Propeller*

Tipe propeller	GAWN
Diameter	6,15 m
Skew	0°
P/D	1
Blade area ratio	0,5

Tabel 2. Data Utama Kapal *DTMB 5415*

Principal Dimension	Full scale	Model Scale
LPP	142 m	5,719 m
LWL	142,218 m	5,726 m
B	19,06 m	0,768 m
T	6,15 m	0,248 m
Fr	0,248	0,248
Cb	0,507	0,507
Cm	0,821	-
Cp	0,61754	-
Lcb	-0,683	-
Vs	27 knot, 18 knot	-
Displacement	8424,4 m ³	0,554 m ³

Karakteristik propeller perairan terbuka secara konvensional disajikan dalam bentuk koefisien dorong dan torsi, yaitu K_T dan K_Q . Sedangkan dalam bentuk koefisien advance ratio yaitu J [6].



Gambar 2. Grafik $K_T - K_Q - \eta$ Gawn

Hasil dari simulasi pada CFD berupa nilai *thrust* dan *torque* terlebih dahulu diubah menjadi nilai K_T dan $10K_Q$. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai K_T dan $10K_Q$ hasil simulasi cfd propeller dengan pembacaan grafik gawn. *Error* nilai K_T dan $10K_Q$ tidak lebih dari 10%. Persamaan untuk karakteristik kinerja *propeller* adalah sebagai berikut [6],

1. $J = \frac{V_s}{nD}$
2. $Thrust\ T = K_T \times \rho \times n^2 \times D^4$
3. $Torque\ Q = K_Q \times \rho \times n^2 \times D^5$

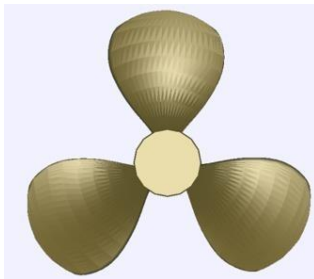
4. Efisiensi $\eta = \frac{K_T J}{K_Q 2\pi}$
5. Error *thrust* dan *torque*

$$\frac{T_{simulasi} - T_{perhitungan}}{T_{perhitungan}} \times 100\%$$

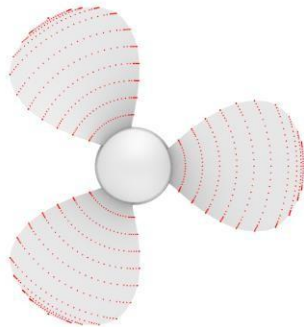
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan *Propeller*

Proses desain propeller Gawn dan variasi Jumlah daun sebesar 3, 4, dan 5. Untuk pemodelan menggunakan software hydrocomp propcad, rhino. Setelah itu divalidasi apakah sudah sesuai dengan data propeller. Berikut merupakan hasil desain yang telah dirancang.



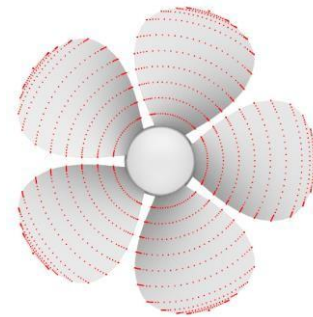
Gambar 3. Desain *propeller* pada *Propcad*



Gambar 4. Desain *propeller* 3 blade pada *Rhino*



Gambar 5. Desain *propeller* 4 blade pada *Rhino*



Gambar 6. Desain *propeller* 5 blade pada *Rhino*

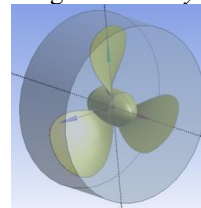
3.2 *Geometry dan Set Up*

Setelah dilakukan desain 3d model propeller tahap selanjutnya yaitu membuat rotating domain dan static domain. Rotating domain adalah domain yang bergerak, yaitu akibat dari berputarnya propeller, berbentuk silinder memanjang yang diameternya lebih besar daripada diameter propeller. Sedangkan static domain adalah domain yang tidak bergerak dalam hal ini diasumsikan sebagai fluida yang mengalir secara statis menuju propeller dengan kecepatan aliran sebesar V_a kapal.

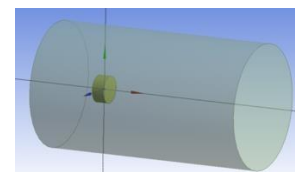


Gambar 7. *Meshing* pada model

Setelah dilakukan pembuatan meshing lalu ke tahap persiapan simulasi, maka dilakukanlah proses *set up* data dengan *boundary condition* yang sudah ditentukan.



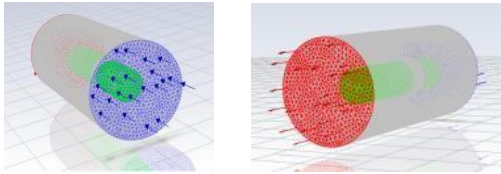
(a)



(b)

Gambar 8. (a) Pengaturan *domain rotary* (b) Pengaturan *domain statik*

Setelah *setting domain static* selesai, kemudian mengatur *setting sub domain inlet, outlet*. Untuk *sub domain inlet* *speednya* diatur dengan inputan *Velocity advanced* kapal (V_a). Kemudian dilanjutkan untuk melakukan *setting sub domain outlet*. Dengan arah keduanya telah ditampilkan pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. (a) Domain Inlet (b) Domain outlet

3.3 Validasi pada Propeller

Hasil simulasi pada titik j 0,6 ,0,8 ,1 pada software ansys fluent dengan output nilai $thrust$ dan $torque$, terlebih dahulu diubah ke nilai K_T dan K_Q . Untuk nilai k_q agar dapat memudahkan pembacaan saat diplot ke dalam grafik terlebih dahulu dikonversi ke 10kq. Setelah itu diperlukan adanya perbandingan antara hasil simulasi dan juga hasil dari pembacaan grafik diagram $K_T - K_Q - J$ tipe Gawn 3 blade dan nilai $error$ tidak melebihi 10%. Dari rumus yang tercantum pada bagian 2, didapatkan hasil nilai $error$ K_T dan 10KQ antara pembacaan diagram dengan simulasi yang disajikan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 3. Nilai Error K_T hasil simulasi dengan pembacaan diagram

J	K_T Diagram	K_T	Error (%)
0,6	0,212	0,200	4,7
0,8	0,128	0,126	3,2
1	0,040	0,036	8,8

Tabel 4. Nilai Error 10KQ hasil simulasi dengan pembacaan diagram

J	10KQ Diagram	10KQ	Error (%)
0,6	0,359	0,341	5
0,8	0,254	0,238	6,2
1	0,15	0,145	3,2

Berdasarkan tabel diatas dimana $error$ untuk semua titik j adalah dibawah 10 %, maka dari itu simulasi sudah valid.. validasi residual dilakukan dengan membuat grid independen dan mengubah ukuran mesh dan jumlah residual. Setelah diperoleh hasil masing-masing variasi, langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai $error$ (%).

Tabel 5. Grid independent Test pada scaled residual 1e-03

Total Cells	Simulasi		Perhitungan		Kenaikan Nilai (%)	
	T	Q	T	Q	T	Q
500000	1360373,5	1576365,5	1406826	1690463	3,4	7,2
1000000	1361520,4	1585993,2			3,3	6,6

Pada tabel diatas hasil *grid independent* pada scaled residual 1e-03 berdasarkan jumlah cell meshing dimana berdasarkan hasil tersebut nilai $error$ pada semua total jumlah cells memenuhi standart sebesar <10%,jadi di pilih total elemen 1000000 untuk nilai $error$ $thrust$ sebesar 3,3% sedangkan nilai $error$ $torque$ sebesar 6,6 %..

3.4 Hasil Simulasi

Data – data hasil simulasi berupa nilai $thrust$, $torsi$ yang telah diolah menjadi nilai kt , kq ,dan $effisiensi$ maka akan diplotkan dalam bentuk grafik. Sehingga dapat dianalisis bagaimana karakteristik dari masing – masing variasi blade yang disimulasikan.:

Tabel 6. Hasil simulasi variasi 3 blade

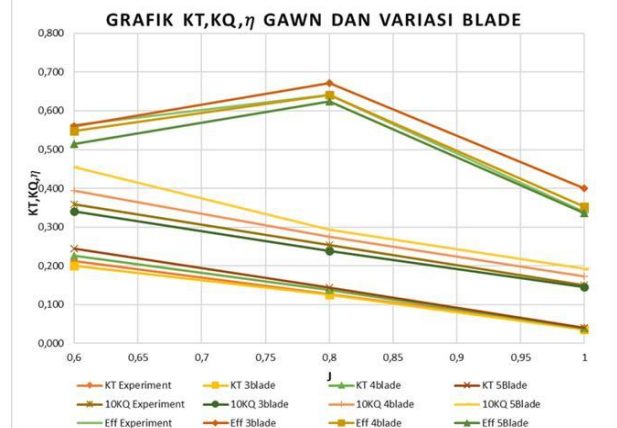
J	Thrust (N)	Torque (Nm)	K_T	10KQ	Eff
0,6	2164721,2	2269918,1	0,200	0,341	0,560
0,8	1361520,4	1585993,2	0,126	0,238	0,672
1	394916,1	966525,9	0,036	0,145	0,400

Tabel 7. Hasil simulasi variasi 4 blade

J	Thrust (N)	Torque (Nm)	K_T	10KQ	Eff
0,6	2443813,1	2617922,2	0,226	0,393	0,548
0,8	1497000,2	1828842,5	0,138	0,275	0,641
1	413630,4	1149055,3	0,038	0,173	0,352

Tabel 8. Hasil simulasi variasi 5 blade

J	Thrust (N)	Torque (Nm)	K_T	10KQ	Eff
0,6	2651555,2	3027349,0	0,245	0,455	0,514
0,8	1555428,1	1952924,9	0,144	0,293	0,624
1	441201,5	1286590,6	0,041	0,193	0,336



Gambar 10. Grafik $K_T - K_Q - \eta$ pada variasi blade

Dari grafik diatas bisa dilihat pada masing-masing variasi (3 Daun, 4 Daun, dan 5 Daun) Terdapat kenaikan posisi grafik disetiap variasi blade pada nilai K_t dan 10Kq, sedangkan grafik nilai $effisiensi$ setiap variasi blade terjadi penurunan. Didapatkan nilai $thrust$, $torque$, dan $effisiensi$ memiliki keterkaitan hubungan ketiganya. Terdapat 3 titik j pada setiap variasi, dapat disimpulkan nilai $thrust$ dan $torque$ yang dihasilkan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah blade. Sedangkan Nilai $effisiensi$ yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah blade

3.5 Tahanan Kapal

Perhitungan Tahanan dari kapal model scale ke kapal full scale didapat dari buku molland[3] setelah itu di bandingkan dengan hasil tahanan menggunakan Maxsuft

Tabel 9. Hasil Tahanan Total Kapal

Vs	m/s	RT (kN)	RT Maxsuft
0,75	0,3858	0,9813	0,7
9	4,6299	141,307	75,7
18	9,2599	565,230	338,1
27	13,8899	1271,768	969,5
30	15,4333	1570,083	1494,6

3.6 Perhitungan Daya Mesin

Kapal kombatan yang dianalisis tipe twin screw. Menggunakan 2 mode kecepatan yaitu 27 knot dan 18 knot.

1. *Effective Horse Power* (EHP)

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= RT \text{ dinas} \times Vs \\ &= 20314,56 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. *Delivery Horse Power* (DHP)

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= \frac{\text{EHP}}{PC} \\ &= 29698,57 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. *Thrust Horse Power* (THP)

$$\begin{aligned} \text{THP} &= \frac{\text{EHP}}{\eta_h} \\ &= 20737,03 \text{ kW} \end{aligned}$$

4. *Shaft Horse Power* (SHP)

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= \frac{\text{DHP}}{\eta_{snb}} \\ &= 30304,67 \text{ kW} \end{aligned}$$

5. *Brake horse power* (BHP)

$$\begin{aligned} \text{BHP}_{SCR} &= \frac{\text{SHP}}{\eta_G} \\ &= 30923,13 \text{ kW} \\ \text{BHP}_{MCR} \text{ 27 knot} &= \frac{\text{BHP}_{SCR}}{0,85} \\ &= 36380, \text{ kW} \end{aligned}$$

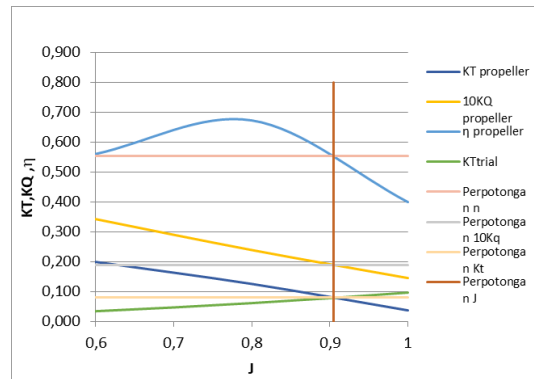
$$\begin{aligned} \text{BHP}_{MCR} \text{ 18 knot} &= \frac{\text{BHP}_{SCR}}{0,85} \\ &= 14758,13 \text{ kW} \end{aligned}$$

Mesin yang direncanakan pada kapal ini ada 4 buah dengan 2 gearbox. Dari perhitungan didapatkan nilai BHP_{MCR} untuk kapal *twin screw ship* dengan kecepatan dinas 27 knot, sehingga Kapal Kombatan DTMB 5415 dipilih 2 mesin MAN L49/60DF 18200 kw untuk kecepatan 27 knot dan 2 mesin MAN V49/60DF 7800 kw untuk kecepatan 18 knot. Gearbox yang digunakan jenis Reintjes DLG 110131 dengan konfigurasi 2 input 1 output.

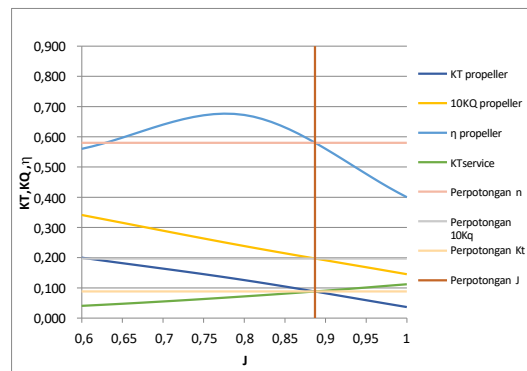
3.7 Analisis Engine Propeller Matching Kecepatan 27 dan 18 Knot

3.7.1 EPM propeller Gawn 3 blade

Dari hasil pembacaan grafik *open water*, dapat diperoleh nilai hubungan $KT-J$ yang mencerminkan hubungan antara koefisien *thrust propeller* dengan kecepatan *advance* di belakang kapal. Grafik *open water* seperti gambar 8, dan hasil perpotongan merupakan titik operasi propeller Gawn 3 blade seperti berikut:



Gambar 7. Grafik K_T trial propeller 3 blade Kecepatan 27 dan 18 knot



Gambar 8. Grafik K_T service propeller 3 blade Kecepatan 27 dan 18 knot

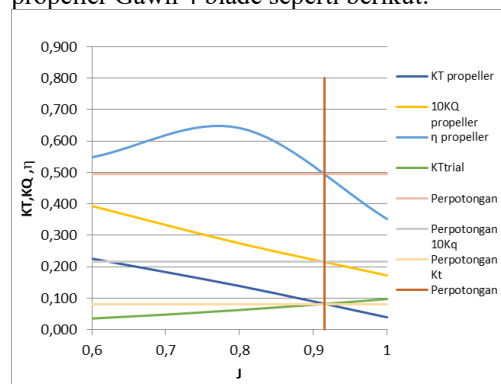
Berdasarkan kedua gambar diatas dapat diketahui performa propeller pada kondisi trial dan service adalah sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil perpotongan garis 3 blade Kecepatan 27 dan 18 knot

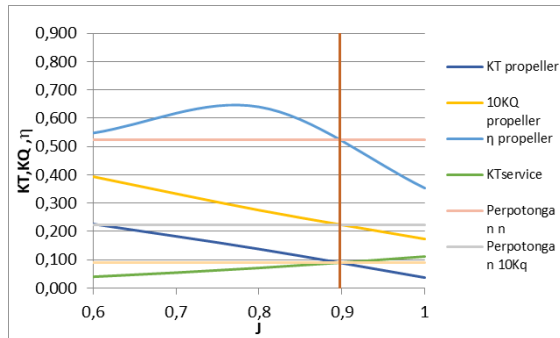
Kondisi	J	KT	10KQ	η
Trial	0,905	0,08	0,188	0,533
Service	0,887	0,088	0,197	0,58

3.7.2 EPM propeller Gawn 4 blade

hasil perpotongan merupakan titik operasi propeller Gawn 4 blade seperti berikut:



Gambar 9. Grafik K_T trial propeller 4 blade Kecepatan 27 dan 18 knot



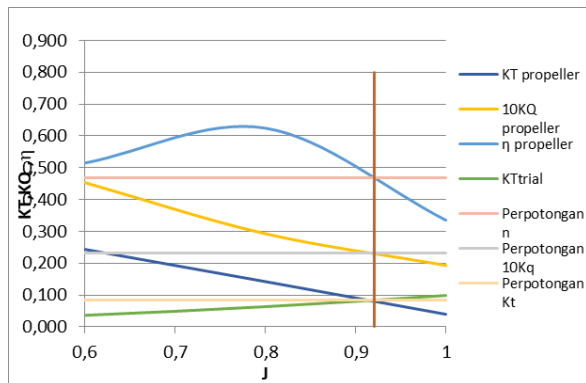
Gambar 10. Grafik K_T service propeller 4 blade Kecepatan 27 dan 18 knot

Berdasarkan kedua gambar diatas dapat diketahui performa propeller pada kondisi trial dan service adalah sebagai berikut:

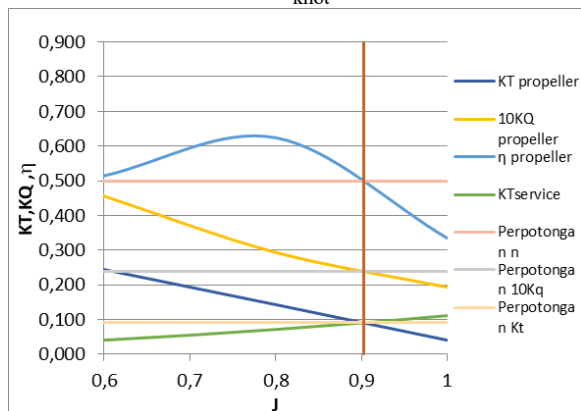
Tabel 11. Hasil perpotongan garis pada 4 blade Kecepatan 27 dan 18 knot

Kondisi	J	KT	10KQ	η
Trial	0,915	0,08	0,216	0,494
Service	0,898	0,089	0,224	0,525

3.7.3 EPM propeller Gawn 5 blade
hasil perpotongan merupakan titik operasi
propeller Gawn 5 blade seperti berikut:



Gambar 11. Grafik K_T trial propeller 5 blade Kecepatan 27 dan 18 knot



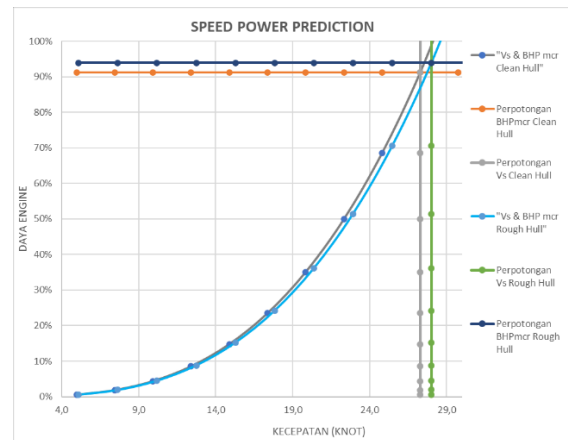
Gambar 12. Grafik K_T Service propeller 5 blade Kecepatan 27 dan 18 knot

Berdasarkan kedua gambar diatas dapat diketahui performa propeller pada kondisi trial dan service adalah sebagai berikut:

Tabel 12. Hasil perpotongan garis pada 5 blade Kecepatan 27 dan 18 knot

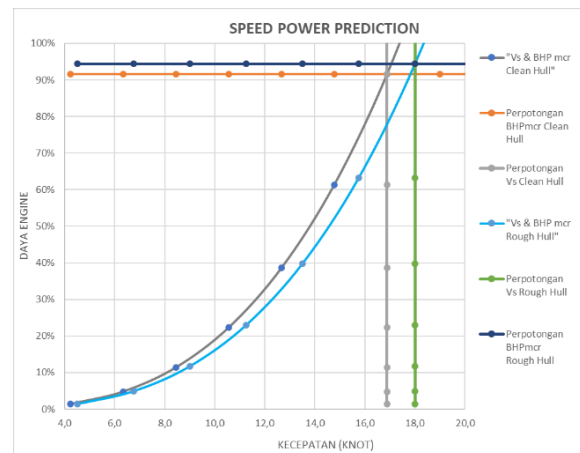
Kondisi	J	KT	10KQ	η
Trial	0,92	0,083	0,231	0,469
Service	0,903	0,091	0,238	0,5

Propeller yang dipilih adalah variasi 5 blade dengan pertimbangan kapal dapat mencapai kecepatan 28 knot pada kondisi rough hull.



Gambar 13. Grafik Power Prediction Propeller 5 Blade Kecepatan 27 knot

Pada gambar diatas yang merupakan hasil menghitung speed dan power prediction dapat diketahui bahwa kapal kombatan DTMB 5415 untuk mencapai kecepatan 27 knot. Sehingga pada kondisi clean hull didapatkan kecepatan 27,28 Knot dengan daya yang dikeluarkan 91,12% dan kondisi rough hull didapatkan kecepatan 28 knot dengan daya yang dikeluarkan 93,88 %.



Gambar 18. Grafik Power Prediction Propeller 5 Blade Kecepatan 18 knot

Pada gambar diatas yang merupakan hasil menghitung *speed* dan *power prediction* dapat diketahui bahwa kapal kombatan DTMB 5415 untuk mencapai kecepatan 18 knot. Sehingga pada kondisi *clean hull* didapatkan kecepatan 16,89 Knot dengan daya yang dikeluarkan 91,64% dan kondisi *rough hull* didapatkan kecepatan 18,01 knot dengan daya yang dikeluarkan 94,41 %

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan variasi jumlah blade terhadap nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency*, dapat disimpulkan bahwa :

1. Variasi jumlah daun terhadap nilai *thrust*, *torque*, *effisiensi* memiliki keterkaitan hubungan ketiganya. Pada blade 3 dengan titik j 0,8 nilai *thrust* yang dihasilkan sebesar 1361,5 kN dan nilai *torque* yang dihasilkan 1585,9 kNm dengan *effisiensi* 0,672. Pada blade 4 dengan titik j 0,8 nilai *thrust* yang dihasilkan sebesar 1497 kN dan nilai *torque* yang dihasilkan 1828,8 kNm dengan *effisiensi* 0,641. Pada blade 5 dengan titik j 0,8 nilai *thrust* yang dihasilkan sebesar 1555,4 kN dan nilai *torque* yang dihasilkan 1952,9 kNm dengan *effisiensi* 0,624. Pada blade 3,4,5 nilai *thrust* dan *torque* semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah daun pada titik j yang sama. Sedangkan untuk nilai *effisiensi* yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah daun pada titik j yang sama hal ini disebabkan nilai *thrust* yang dihasilkan mengalami kenaikan dan nilai *torque* yang dihasilkan juga terjadi kenaikan yang lebih besar. *Torque* yang dihasilkan lebih besar dikarenakan kemampuan yang diperlukan untuk memutar propeller setiap bertambahnya jumlah blade semakin besar.
2. Berdasarkan pembahasan dan perhitungan Engine Propeller Matching dengan data kapal dan dipilih engine dengan daya 18200 Kw untuk kecepatan 27 knot dan 7800 kw untuk kecepatan 18 knot. Hasil dari perhitungan EPM, didapatkan titik operasi (matching point) yang menghasilkan kecepatan yang optimum diperoleh pada variasi propeller 5 blade pada mesin V49/60DF dengan kondisi putaran engine 550 rpm, dengan pembebanan daya sebesar 93,88 % kecepatan kapal dapat mencapai 28 knot, dan pada variasi propeller 5 blade pada mesin L49/60 DF dengan kondisi putaran engine 400 rpm, dengan pembebanan daya sebesar 94,4 % kecepatan kapal dapat mencapai 18 knot, Sehingga dipilih propeller gawn 5 blade.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ITTC, "ITTC-Recommended Procedures and Guidelines-CFD, resistance and flow benchmark database for CFD validation for resistance and propulsion. 7.5-03-02-02(revision00)," 22nd ITTC Conference, p.12, 1999.
- [2] Kurniawan, M.E. et al. (2023) 'Analisis Pengaruh Tipe Nozzle dan Tip Clearance terhadap Kinerja Propeller K- Series menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)'
- [3] Molland, A.F. et al. (2011b) Ship Resistance and Propulsion, Ship Resistance and Propulsion. Available at: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511974113>.
- [4] Radyantama, R.A. et al. (2020) 'Analisis Kelelahan Propeler KP-505 B-Series dengan Variasi Jumlah Daun pada Kapal Kontainer 3600 TEUs'
- [5] Le, T.H. et al. (2019) 'Prediction of propeller open water characteristics for high speed boat by CFD method', International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering.
- [6] Bernitsas, M.M. et al. (1981) 'KT, KQ and efficiency curves for the Wageningen B-series propellers',