

# ANALISIS OPTIMALISASI NILAI *THRUST*, *TORQUE* DAN *EFFICIENCY PROPELLER B SERIES* DAN *KAPLAN SERIES* PADA STUDI KASUS KAPAL PENCALANG 15 GT MENGGUNAKAN METODE CFD

Muhammad Iqbal<sup>1\*</sup>, Abdul Gafur<sup>2</sup>, Bambang Antoko<sup>3</sup>

Prodi D – IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*2 3</sup>

Email: [miqbal@student.ppns.ac.id](mailto:miqbal@student.ppns.ac.id)\*; [abdulgafur@ppns.ac.id](mailto:abdulgafur@ppns.ac.id)\*; [bambangantoko@ppns.ac.id](mailto:bambangantoko@ppns.ac.id)\*;

---

**Abstract** - *Pencalang* is a traditional sailing ship used as a merchant ship. Along with the times, *Pencalang* changed its function to become a patrol boat with the addition of a motor as its driving force. In the traditional wooden ship revitalization project, propeller selection is important because the ship uses a sail and motor system. This research analyzes the use of Kaplan propeller types to optimize thrust, torque, and efficiency where currently the propeller used for *Pencalang* ships is type B-series. The selection of the Kaplan propeller to be analyzed is based on the diameter that matches the availability of propeller space on the propeller ship or  $< D_{propeller}$  B-series g. The selection of kaplan propellers resulted in kaplan types K4-55 and K4-70 with diameters of 0.659 and 0.619, respectively. The B-series and kaplan series propellers that have been selected are then analyzed using modeling software and simulation software that has calculated its error using MAPE with the result of an error  $< 10\%$ . The simulation results in the software show that the Kaplan series propeller can be used as an option for the type of propeller that can be used on *Pencalang* if a propeller replacement will be carried out later, because with a smaller diameter compared to the B-series propeller it will produce greater thrust and torque. The Kaplan series propeller that produces the highest thrust and torque is K4-70 with a maximum thrust value of 6966.76 N and a maximum torque of 978.977 Nm.

**Keyword:** *Propeller B Series, Kaplan, Thrust, Torque, Efficiency, CFD*

---

## 1. PENDAHULUAN

Kapal kayu adalah bagian penting dalam kehidupan masyarakat pesisir Indonesia. Selain sebagai transportasi utama, kapal ini juga digunakan untuk penangkapan ikan, pengangkutan barang, dan patroli. Salah satu jenis kapal kayu tradisional yang menonjol adalah Kapal Pencalang.

Seiring waktu, Kapal Pencalang yang mulanya berfungsi sebagai kapal dagang, kemudian beralih menjadi kapal dagang yang juga berperan dalam patroli dan pengintaian musuh menggunakan kedok dagangnya. Ini membawa perubahan dalam proses pembuatannya, terutama pada bagian penggerak utama. Motor ditambahkan untuk menggerakkan baling-baling kapal atau propeller, yang memungkinkan kapal bergerak dengan kecepatan lebih tinggi daripada hanya mengandalkan layar

Perancangan optimal kapal melibatkan aspek penting seperti perencanaan lambung, sistem permesinan, dan sistem propulsi. Dalam hal perencanaan sistem propulsi yang baik, desain propeller memegang peran sentral. Propeller berperan sebagai sumber gaya dorong (thrust) pada kapal.

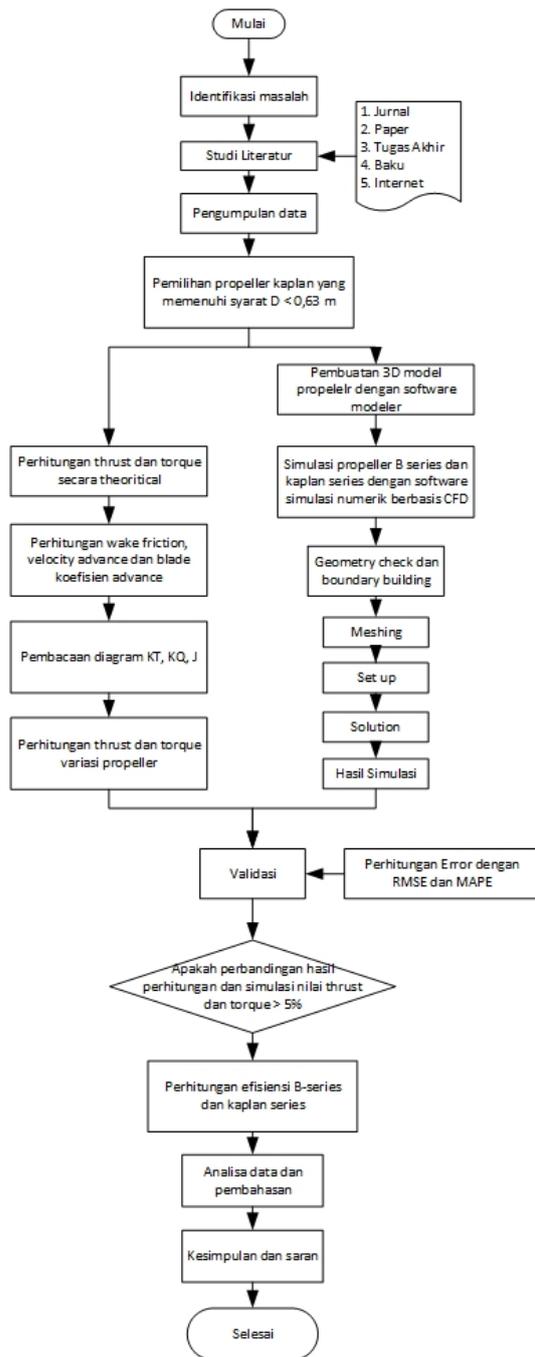
Dalam proyek "Revitalisasi Ekosistem Kapal Kayu Tradisional" oleh PPNS, Kapal Pencalang 15 GT menghadapi masalah instalasi permesinan akibat propeller terlalu besar, berpotensi menabrak lunas. Solusinya adalah mereduksi lunas untuk memasang propeller. Mulanya, pemilihan hanya berdasarkan propeller

B-series saja, sedangkan menurut beberapa penelitian propeller *kaplan series* dengan diameter yang sama memiliki nilai thrust dan torque lebih optimal. Oleh karena itu, pertimbangan pemilihan *kaplan series* seharusnya perlu dipertimbangkan.

Penelitian ini bertujuan menganalisis tipe propeller untuk Kapal Pencalang. Perbandingan dilakukan antara perhitungan propeller B series dan kaplan series untuk mendapatkan thrust, torque, dan efisiensi yang optimal. Pemilihan tipe kaplan series disesuaikan dengan main engine kapal. Hasil analisis diharapkan memberikan rekomendasi propeller terbaik dalam hal thrust, torque, dan efisiensi. Pemodelan propeller menggunakan software propeller modeler dan simulasi dilakukan dengan software simulasi numerik berbasis CFD.

## 2. METODOLOGI

Alur penelitian yang dilakukan sebagai berikut



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

## 2.1 Kapal

Kapal adalah sarana transportasi laut yang telah berevolusi dari struktur kayu sederhana hingga kapal modern yang kompleks. Kapal layar kayu muncul sekitar 1500 SM dan berkembang menjadi kapal yang mengelilingi dunia pada 1000 Masehi. Penggunaan penggerak mekanik dimulai pada 1900 Masehi, dan penggunaan besi dan baja menggantikan kayu mulai populer untuk pembuatan kapal lebih besar. Kapal berlambung besi pertama, "The Great Britain," diluncurkan pada 1840.

Kapal memiliki klasifikasi berdasarkan propulsi (dengan atau tanpa propeller) dan fungsi

(perairan dangkal atau dalam, kapal niaga seperti tanker dan kapal kargo, serta kapal perang seperti frigates dan kapal selam). Terdapat juga kapal tambahan seperti tunda dan keruk.

Kapal pencalang yang menjadi fokus penelitian ini telah mengalami perubahan peran, dari kapal dagang menjadi sarana revitalisasi ekosistem kapal kayu tradisional. Kapal ini dilengkapi dengan dua sistem penggerak, yaitu layar dan motor. Fungsinya yang berubah menjadi tujuan wisata atau pameran menuntut performa yang optimal dalam berlayar dan mengakibatkan perubahan dalam kebutuhan sistem propulsi, terutama propeller. Dengan memastikan kualitas sistem propulsi, khususnya performa propeller, kapal dapat menjalankan fungsinya dengan baik.

## 2.2 Sistem Propulsi Kapal

Sistem propulsi kapal berfungsi untuk menggerakkan kapal dengan kecepatan tertentu, yang terdiri dari tiga komponen utama: main engine, gearbox, dan propeller. Pemilihan ketiga komponen tersebut disesuaikan dengan tipe, ukuran, kecepatan, lambung, dan buritan kapal. Koordinasi yang baik diperlukan karena merupakan sistem keseluruhan.

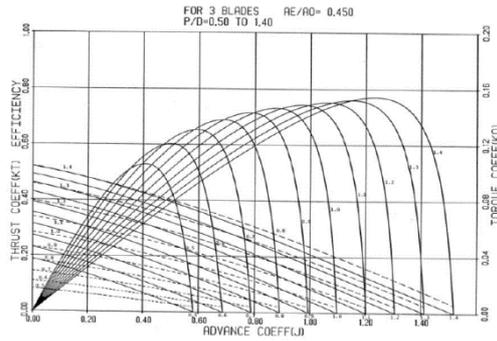
Pada Kapal Pencalang, main engine dan gearbox menggunakan merk WEICHAI 226B-3C series, dan propeller B-series tipe B4-55. Penelitian berfokus pada propeller karena B-series dan kaplan series untuk membandingkan performace keduanya.

## 2.3 Propeller

Propeller, juga dikenal sebagai Marine Screw Propeller, merupakan komponen krusial dalam sistem propulsi kapal. Propeller mengubah gerakan rotasi yang dihasilkan oleh main engine menjadi gaya dorong atau thrust yang mendorong kapal bergerak maju. Propeller berputar sepanjang sumbu porosnya.

Propeller B-Series adalah jenis propeller umum yang sering digunakan pada kapal jenis merchant ship. Bentuknya lebih sederhana dibandingkan tipe lainnya, namun tetap memiliki karakteristik kinerja yang baik. Propeller B-Series umumnya memiliki variasi  $Ae/A0$  dari 0,3 hingga 1,05 dan jumlah daun ( $z$ ) antara 3 hingga 7.

Karakteristik beban propeller dapat direpresentasikan dalam bentuk diagram dengan menggunakan beberapa koefisien dan ukuran. Diagram ini menggambarkan Torque dan Thrust sebagai fungsi dari kecepatan. Karakteristik propeller ditentukan oleh koefisien Thrust (KT), koefisien torque (KQ), dan koefisien advanced (J).



Gambar 2 Diagram KT, KQ, J propeller B-Series

Propeller Kaplan menggunakan reaksi aliran aksial dan dikembangkan dari analisis seri kaplan propeller non-cavitating di perairan terbuka. Tipe ini mengadopsi struktur mirip perahu dengan 3-5 daun baling-baling. Propeller kaplan meningkatkan efisiensi dan daya dorong dengan aliran yang lebih cepat ke baling-baling[1]. Prinsip kerjanya mirip dengan turbin pembangkit listrik Francis, mengandalkan prinsip reaksi. Propeller kaplan memiliki roda jalan yang menyerupai baling-baling pesawat terbang. Pemilihan kaplan series harus disesuaikan dengan spesifikasi main engine yang digunakan. Berikut adalah tahapan pemilihan kaplan series.

- a. Menentukan Nprop

Nprop adalah kecepatan rotasi propeller yang diukur dalam RPM. Nprop dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$N_{prop} = N_{Main Engine} / Ratio_{Gearbox} \quad (1)$$

- b. Menentukan Nilai Va

Nilai Va adalah kecepatan aliran relatif antara propeller dan aliran air sekitarnya. Tujuannya adalah mencocokkan propeller dengan kecepatan aliran yang tepat (Va) agar dorongan optimal sesuai kecepatan kapal yang diinginkan. Berikut adalah rumus yang digunakan.

$$VA = (1-w) \times Vs \quad (2)$$

$$w = 0,5 \times Cb - 0,05 \quad (3)$$

Keterangan:

VA = kecepatan advance (m/s)

w = wake friction untuk kapal *single screw propeller*

Vs = kecepatan kapal (m/s)

Cb = koefisien blok

- c. Menentukan Nilai Bp

Berdasarkan buku [2] berikut adalah rumus Bp yang kemudian akan digunakan sebagai parameter pembacaan diagram.

$$B_p = 33,07 \frac{K_Q^{1/2}}{J^2} = NP^2 / V_A^5 \quad (4)$$

Keterangan:

N = putaran rotasi propeller per menit

P = power (HP)

VA = kecepatan advance (knot)

- d. Penentuan Diameter Maksimum

Berikut adalah rumus diameter maksimum yang dapat digunakan.

$$D_{MAX} = 0,6T \sim 0,7T \quad (5)$$

Keterangan:

T = sarat air kapal

- e. Pembacaan BP - δ Diagram

Pembacaan berdasarkan nilai BP menghasilkan P/D, η0, dan δ0. Nilai ini diperlukan untuk menentukan diameter propeller (Db) dari pembacaan BP - δ pada diagram kaplan series. Setelah itu, pembacaan diagram dilakukan lagi dengan parameter δb untuk mendapatkan nilai ηb, yaitu efisiensi propeller yang disesuaikan dengan tipe, seperti single atau twin screw.

$$D_0 = \frac{\delta_0 \times V_A}{N} \quad (6)$$

$$\delta_b = \frac{D_b \times N}{V_A} \quad (7)$$

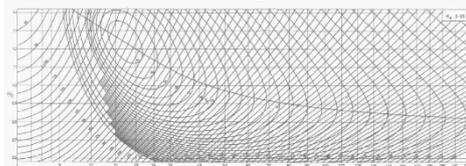
Keterangan:

D0 = dalam (ft)

Db = untuk single-screw propeller db = 0,96 D0

= untuk twin-screw propeller db = 0,98 D0

Berikut adalah BP - δ diagram kaplan series.



Gambar 3 Diagram Kaplan Series

Karakteristik *propeller* perairan terbuka secara konvensional disajikan dalam bentuk koefisien dorong dan torsi, yaitu KT dan KQ. Sedangkan dalam bentuk koefisien *advance ratio* yaitu J

Koefisien Thrust

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (8)$$

Koefisien Torsi

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (9)$$

Efisiensi propeller

$$\eta_0 = \frac{T \times V_A}{2 \times \pi \times Q \times n} \quad (10)$$

Koefisien advance ratio

$$J = \frac{V_A}{nD} \quad (11)$$

Keterangan:

- T = *propeller thrust*
- Q = *propeller thrust*
- $\rho$  = massa jenis fluida
- n = kecepatan putaran *propeller*
- D = diameter *propeller*
- VA = kecepatan *advance*

*Rake propeller* adalah sudut kemiringan antara daun *propeller* dengan bagian tengah *propeller*. *Rake* pada *propeller* dibuat untuk menambah jumlah massa air yang dapat dihisap dan digunakan untuk mendorong kapal. Kebanyakan *rake angle* dirancang relatif terhadap belakang terhadap generator line dari *propeller*.

*Skew* adalah sudut antara posisi mid-chord dan garis directrix. didefinisikan sebagai sudut terbesar yang diukur pada garis tengah sumbu yang ditarik antara garis-garis yang menyilang dari sumbu garis tengah melalui posisi mid-chords dari setiap dua bagian.

*Thrust* adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller pada kecepatan tertentu dalam satuan newton. Untuk menentukan nilai thrust sebuah kapal bisa menggunakan formula berikut:

$$T = KT \times \rho \times n^2 \times D^4 \quad (12)$$

Keterangan:

- KT = Koefisien *Thrust Propeller*
- T = *Thrust Propeller* (N)
- $\rho$  = Massa Jenis Fluida (Kg/m<sup>3</sup>)
- n = Jumlah putaran per sekon (rps)
- D = Diameter *Propeller* (m)

*Torque* atau torsi adalah kemampuan puntir yang diberikan pada suatu benda (*propeller*), sehingga menyebabkan benda tersebut berputar pada sumbunya. *Torque* yang bekerja pada sebuah blade umumnya dapat diketahui dengan cara membaca grafik KT-KQ-J suatu tipe propeller tertentu kemudian nilai KQ yang didapat dimasukkan kedalam persamaan:

$$Q = KQ \times \rho \times n^2 \times D^5 \quad (13)$$

Keterangan:

- KQ = Koefisien *torque Propeller*
- T = *Torque Propeller* (N)
- $\rho$  = Massa Jenis Fluida (Kg/m<sup>3</sup>)

n = Jumlah putaran per sekon (rps)

D = Diameter *Propeller* (m)

Efisiensi Baling-baling Adalah rasio antara daya dorong (PT) dengan daya yang disalurkan (PD). Efisiensi ini merupakan *power conversion*, dan perbedaan nilai yang terjadi adalah terletak pada dimana pengukuran torsi baling-baling (*Propeller Torque*) tersebut dilakukan.

$$\eta_0 = \frac{T \times V_A}{2 \times \pi \times Q \times n} \quad (14)$$

## 2.4 CFD

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah cabang mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menganalisis permasalahan aliran fluida. CFD bertujuan meramalkan aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem kompleks yang melibatkan berbagai fenomena.[3].

*PreProcessor* adalah tahap awal dalam *Computational Fluid Dynamics* (CFD) di mana input data ditentukan, termasuk domain dan kondisi batas. Tahap ini juga melibatkan proses meshing, di mana objek yang dianalisis dibagi menjadi grid-grid tertentu.

Tahap berikutnya adalah *Processor* dalam *Computational Fluid Dynamics* (CFD), di mana perhitungan data yang dimasukkan diolah menggunakan persamaan terkait secara iteratif hingga mencapai nilai error terkecil.

Tahap terakhir adalah tahap *post processor*, hasil dari perhitungan pada tahap *processor* akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi.

## 2.5 Perhitungan Nilai Error

Perhitungan nilai *error* digunakan untuk memastikan keakurasian hasil simulasi CFD. Jenis metode yang digunakan dapat menggunakan 2 jenis metode penilaian error yaitu RMSE (*Root Mean Square Error*) dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan yang dinyatakan sebagai berikut [4]

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N |\hat{r}_n - r_n|^2}{N}} \quad (15)$$

$$MAPE = \sum_{n=1}^N \left| \frac{\hat{r}_n - r_n}{r_n} \right| \times 100\% \quad (16)$$

Semakin besar nilai error, maka terdapat perbedaan besar antara kedua data dan prediksi kurang akurat. Sebaliknya, semakin kecil nilai error, maka terdapat perbedaan kecil antara kedua data dan prediksi lebih akurat. Nilai MAPE yang rendah menunjukkan model peramalan yang baik, dengan rentang nilai MAPE dapat dilihat pada tabel berikut.

MAPE	Signifikasi
<10 %	Sangat baik
10 – 20 %	Baik

20 – 50 %	Layak atau memadai
>50 %	Buruk

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Utama

Berikut adalah data Kapal Pencalang yang digunakan sebagai data utama dalam penelitian ini.

Tabel 1 *Principal dimension* Kapal Pencalang

<b>Principal Dimension (Kapal Pencalang)</b>	
Length Water Line (LWL)	12.25 m
Length Perpendicular (LPP)	12.02 m
Breadth (B)	4 m
Depth (D)	1.55 m
Draft (T)	1 m
Speed (Vs)	8 knot
Cb	0.419

Tabel 2 Data *propeller* Kapal Pencalang

<b>Data Propeller (Kapal Pencalang)</b>	
Diameter	630 mm
Pitch	855 mm
Blade	4
Blade Area Ratio	0.567
Rake	10
Material	Manganeze Bronze
Profil	B-Series

Tabel 3 *Main engine and gear box spesification*

<b>Main Engine Specification</b>	
Merk	WEICHAI
Type	226B
Power Max	68 kW
Cylinder	3
Bore	105 mm
Piston Stroke	120 mm
Speed	1800 rpm
MEP	30 Bar
Dimension	
Length	890 mm
Width	694 mm
Height	1066 mm
Weight	400 kG
<b>Gear Box Specification</b>	
Merk	WEICHAI
Type	WHG170
Power Factor	0.039 kW/ rpm
Ratio	3
Dimension	
Length	786 mm
Width	550 mm
Height	763 mm
Weight	270 kG

#### 3.2 Pemilihan *Propeller Kaplan Series*

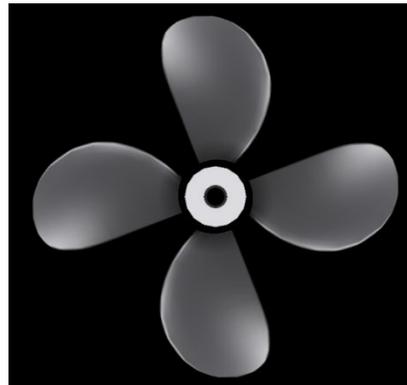
Dari hasil pembacaan BP -  $\delta$  diagram *kaplan series* dengan pertimbangan  $D < 0,63$  dan  $D = 0,6T \sim 0,7T$  maka berikut adalah *propeller kaplan* yang dapat dipilih untuk kemudian dianalisis *performance* – nya.

Propeller 1		Propeller 2	
Type =	Ka 4-55	Type =	Ka 4-70
Db =	0.629 m	Db =	0.619 m
P/D =	1.3599	P/D =	1.3809

#### 3.3 Pemodelan *Propeller B Series* dengan *software propeller modeler*

Pada penelitian kali ini, pemodelan *propeller* dilakukan dengan bantuan *software propeller modeler*, data yang dibutuhkan adalah diameter *propeller*, *nominal pitch*, dan *expanded*

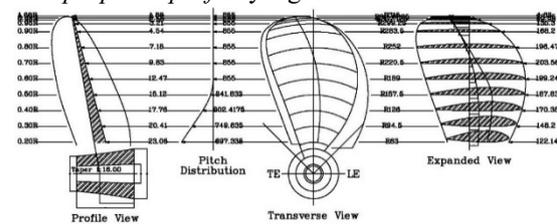
*BAR*. Berikut adalah hasil pemodelan *propeller B series*.



Gambar 4 Hasil pemodelan *propeller B series* dengan *software propeller modeler*

#### 3.4 Pembuatan *Detail Drawing Propeller*

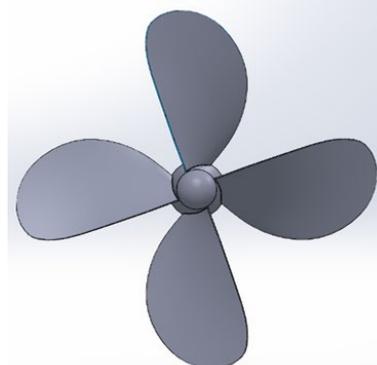
Pembuatan *propeller profile* dilakukan untuk mengetahui *detail* hasil pemodelan *propeller* yang telah dilakukan. Berikut adalah hasil *propeller profile* yang telah dibuat.



Gambar 5 *Detail propeller profile B series*

#### 3.5 Pemodelan 3D *Propeller B Series*

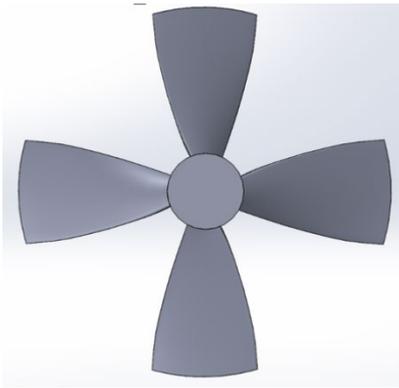
Pemodelan 3D *propeller* dilakukan dengan bantuan *software 3D modelling*. Tujuannya adalah agar hasil pemodelan *propeller* menjadi desain 3D *solid* dan bisa disimulasikan dengan metode CFD. Berikut adalah hasil pemodelan 3D *propeller* yang sudah *solid*.



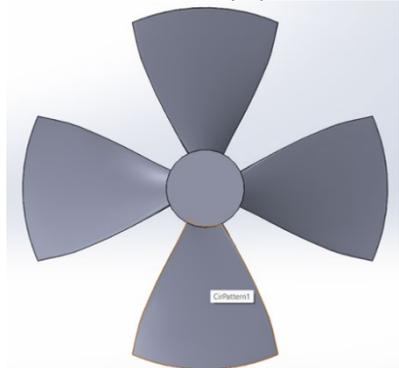
Gambar 6 *Propeller B series* yang sudah *solid*

#### 3.6 Pemodelan *Kaplan Series Propeller*

Untuk pembuatan *propeller kaplan*, langkah yang sama dapat dilakukan seperti cara pemodelan *propeller B series* sebelumnya. Dan bentuk *solid* dari *propeller kaplan* yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar berikut.



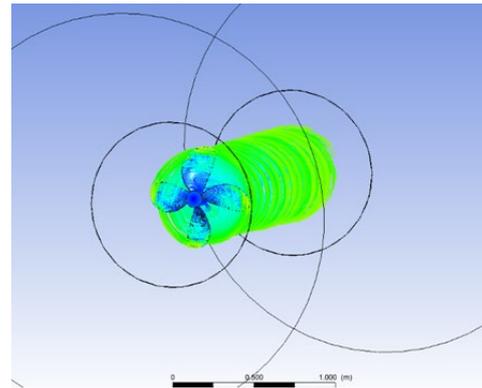
Gambar 7 Bentuk solid propeller K4 – 55



Gambar 8 Bentuk solid propeller K4 – 70

### 3.7 Simulasi CFD Propeller B Series

Pada penelitian ini analisa yang digunakan untuk mengetahui nilai *thrust* dan *torque* pada *propeller* adalah dengan menggunakan *software* simulasi berbasis *computational fluid dynamic*. Proses simulasi terdiri dari beberapa tahapan, yakni *geometry*, *mesh*, *setup*, *solution*, dan *result*. Tahap *geometry* merupakan tahap awal yaitu tahap *import* model *propeller* yang sebelumnya telah disolidkan pada *software 3D modelling*. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan beberapa domain yang digunakan pada simulasi. *Mesh* merupakan tahap yang dilakukan untuk menentukan ukuran tiap elemen yang ada, semakin kecil elemen maka tingkat kedetailan akan semakin akurat, ukuran *file* juga akan semakin besar, dan begitu juga sebaliknya. Tahap *setup* adalah tahap penentuan setelan sebelum dilakukan *run* pada simulasi. Pada tahap ini diatur kecepatan aliran, arah aliran, kecepatan putaran *propeller*, material fluida yang mengalir melalui *propeller* dan juga gravitasi. Tahap *results* adalah tahap terakhir, pada tahap ini akan diketahui hasil dari simulasi yang telah dilakukan yaitu nilai *thrust* dan *torque*. Selain itu aliran fluida yang melalui *propeller* juga dapat diketahui pada tahap ini. Berikut adalah hasil dari simulasi CFD yang telah dilakukan dengan rpm 600.



Gambar 9 Hasil simulasi CFD berupa *streamline* aliran fluida

Results	Results
Force on propeller	Torque on propeller
6303.89 [N]	837.145 [N m]

Gambar 7 Hasil simulasi CFD berupa nilai thrust dan torque  
 Selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan variasi rpm yang telah ditentukan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 Hasil simulasi CFD *propeller B series* dengan variasi RPM

RPM	Thrust (N)	Torque (Nm)
300	572.527	105.8328
350	1190.24	188.14
400	1943.46	284.466
450	2851.91	398.729
500	3888.88	529.415
550	5044.89	675.348
600	6303.89	837.145

### 3.8 Perhitungan Nilai Thrust dan Torque dengan Kalkulasi

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan hasil dari simulasi CFD dengan perhitungan rumus menggunakan acuan grafik *KT – KQ – J* diagram B4-55 dan dengan data utamaa Kapal Pencalang. Tujuannya adalah untuk memastikan keakurasian data hasil simulasi CFD.

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai wake friction (*w*) yang telah dihitung dan didapatkan hasil sebesar 0.1595. Nilai *Va* sebesar 3.459121 m/s. Nilai *J* sebesar 0.5490 dan nilai *P/D* sebesar 1.3571.

Selanjutnya adalah pembacaan grafik *KT – KQ – J propeller B4 – 55 series* pada rpm 600 dan didapatkan hasil nilai *KT* sebesar 0.4028 dan nilai *KQ* sebesar 0.0814. Dari nilai tersebut kemudian dapat diketahui nilai *thrust propeller* sebesar 6424.1137 N dan nilai *torque propeller* sebesar 820.3374 Nm.

Selanjutnya adalah melakukan perhitungan kembali dengan variasi rpm yang sama dengan variasi yang dilakukan pada saat

simulasi CFD. Berikut adalah hasil nilai *thrust* dan *torque* dengan perhitungan manual.

Tabel 5 Hasil nilai *thrust* dan *torque* dengan perhitungan manual

RPM	Thrust (N)	Torque (Nm)
300	619.9212108	102.451351
350	1251.936492	182.9632578
400	2014.503656	279.6623166
450	2912.908852	392.7755916
500	3956.603077	520.22923
550	5126.684339	661.8365347
600	6424.113756	820.3374132

### 3.9 Perhitungan nilai error *Thrust* dan *Torque* dengan *RMSE* dan *MAPE*

Hasil perhitungan *error* dengan *RMSE* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6 Hasil perhitungan *error* nilai *thrust* dengan *RMSE*

RPM	Thrust (N)		$x_t - f_t$	$(x_t - f_t)^2$
	Calculation	Simulation		
300	619.921	572.527	47.3942	2246.211
350	1251.94	1190.24	61.6965	3806.457
400	2014.5	1943.46	71.0437	5047.200
450	2912.91	2851.91	60.9989	3720.859
500	3956.6	3888.88	67.7231	4586.415
550	5126.68	5044.89	81.7943	6690.313
600	6424.11	6303.89	120.224	14453.75
Rata rata				5793.029
<b>RMSE</b>				76.111956

Dari tabel tersebut, didapatkan nilai *RMSE* untuk *thrust* sebesar 76.1119.

Tabel 7 Hasil perhitungan *error* nilai *torque* dengan *RMSE*

RPM	Torque (Nm)		$x_t - f_t$	$(x_t - f_t)^2$
	Calculation	Simulation		
300	102.4514	105.83278	-3.38142	11.43406
350	182.9633	188.14	-5.17674	26.79866
400	279.6623	284.466	-4.80368	23.07537
450	392.7756	398.729	-5.95340	35.44307
500	520.2292	529.415	-9.18576	84.37837
550	661.8365	675.348	-13.5114	182.5597
600	820.3374	837.145	-16.8075	282.495
Rata rata				92.3120
<b>RMSE</b>				9.60791

Dari tabel tersebut, didapatkan nilai *RMSE* untuk nilai *torque* sebesar 9.60791. Dari kedua nilai *error* *RMSE* di atas belum bisa diketahui nilai tersebut bisa digunakan atau tidak karena *RMSE* tidak memiliki standard nilai minimal untuk mengetahui kinerja model. Maka selanjutnya adalah melakukan perhitungan *error* dengan metode *MAPE*. Untuk hasil perhitungan *error* *MAPE* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 8 Hasil perhitungan *error* nilai *thrust* dengan *MAPE*

RPM	Thrust (N)		$\frac{ x_t - f_t }{x_t}$
	Calculation	Simulation	
300	619.921	572.527	7.6452
350	1251.94	1190.24	4.92808
400	2014.5	1943.46	3.52661
450	2912.91	2851.91	2.09409
500	3956.6	3888.88	1.71165
550	5126.68	5044.89	1.59546
600	6424.11	6303.89	1.87145
<b>MAPE</b>			3.33893

Dari tabel di atas, dapat diketahui perhitungan *error* dengan metode *MAPE* untuk nilai *error* *thrust* adalah 3.34 %.

Tabel 9 Hasil perhitungan *error* nilai *torque* dengan *MAPE*

RPM	Torque (Nm)		$\frac{ x_t - f_t }{x_t}$
	Calculation	Simulation	
300	102.4514	105.8328	3.300522
350	182.9633	188.14	2.829389
400	279.6623	284.466	1.717673
450	392.7756	398.729	1.515728
500	520.2292	529.415	1.765716
510	542.0864	557.411	2.826957
550	661.8365	675.348	2.041511
600	820.3374	837.145	2.048863
<b>MAPE</b>			2.17420

Dari tabel di atas, dapat diketahui perhitungan *error* dengan metode *MAPE* nilai *error* *torque* adalah 2.17 %. Jadi, kedua nilai *error* tersebut dapat dikatakan sangat kecil karena hasilnya masih dibawah 5%, sedangkan untuk *MAPE* standar signifikansi sangat baik adalah nilai *error* berada dibawah 10%. Maka dapat dipastikan parameter set up yang digunakan pada simulasi CFD telah akurat dan bisa digunakan untuk analisis model yang lainnya.

### 3.10 Simulasi CFD *Propeller Kaplan*

Untuk simulasi CFD pada *propeller kaplan*, langkah yang sama dapat dilakukan seperti langkah yang telah dilakukan pada simulasi sebelumnya. Parameter *setup* yang dilakukan sebagai acuan adalah parameter set up yang digunakan pada saat simulasi CFD *propeller B series*. Hasil dari simulasi CFD *propeller Kaplan* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10 Hasil simulasi CFD *propeller* K4 - 55

K4 - 55		
RPM	Thrust (N)	Torque (Nm)
300	700.475	130.975
350	1381.48	220.582
400	2208.6	328.613
450	3178.68	454.174
500	4313.18	598.753
550	5518.65	755.787
600	6824.74	927.854

Dari tabel tersebut dapat diketahui nilai *thrust* dan *torque* K4 - 55 dengan 7 kali percobaan simulasi CFD dengan variasi rpm dari 300 sampai dengan 600.

Untuk hasil simulasi CFD *propeller K4 - 70* dapat dilihat pada tabel berikut.

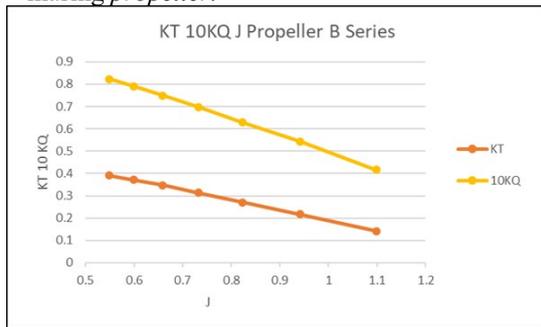
K4 - 70		
RPM	Thrust (N)	Torque (Nm)
300	645.746	128.097
350	1315.24	220.534
400	2167.16	333.53
450	3147.57	464.076
500	4260.29	614.343
550	5528.65	784.651
600	6966.76	978.977

Dari tabel tersebut dapat diketahui nilai *thrust* dan *torque* K4 - 70 dengan 7 kali percobaan simulasi CFD dengan variasi rpm dari 300 sampai dengan 600.

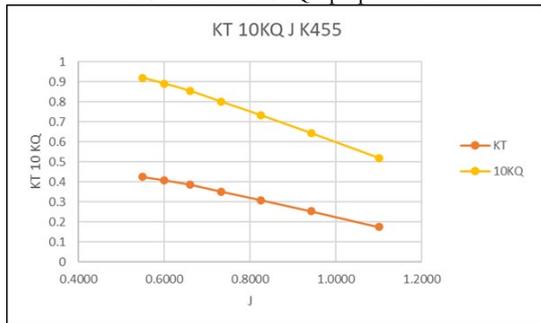
### 3.11 Grafik *KT - KQ - J*

Dari data yang telah didapatkan dari hasil simulasi CFD, yang berupa nilai *thrust* dan *torque* selanjutnya data tersebut diolah menjadi grafik *KT - KQ - J*.

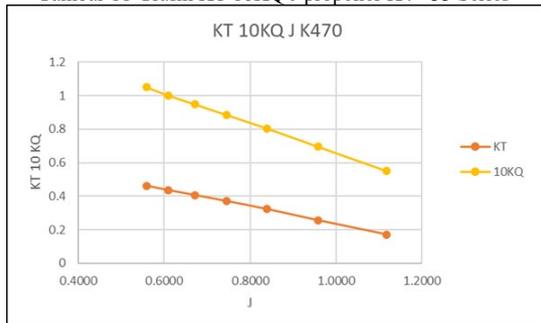
Berikut adalah grafik KT – KQ – J untuk masing – masing *propeller*.



Gambar 10 Grafik KT 10KQ J propeller B Series



Gambar 11 Grafik KT 10KQ J propeller K4 - 55 Series



Gambar 12 Grafik KT 10KQ J propeller K4 - 70 Series

Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai KT – KQ – J untuk masing – masing *propeller*.

### 3.12 Perhitungan Efisiensi

Perhitungan *efficiency* dilakukan untuk mengetahui *propeller* mana yang memiliki efisiensi paling tinggi pada tiap variasi rpm yang telah disimulasikan. Berikut adalah tabel hasil perhitungan efisiensi masing – masing *propeller*.

Tabel 11 Hasil perhitungan *efficiency propeller B series*

RPM	RPS	Thrust (N)	Torque (Nm)	Efisiensi
300	5	572.527	105.8328	59.60%
350	5.833333	1190.24	188.14	59.74%
400	6.666667	1943.46	284.466	56.45%
450	7.5	2851.91	398.729	52.53%
500	8.333333	3888.88	529.415	48.55%
550	9.166667	5044.89	675.348	44.89%
600	10	6303.89	837.145	41.48%

Tabel 12 Hasil perhitungan *efficiency propeller K4 - 55*

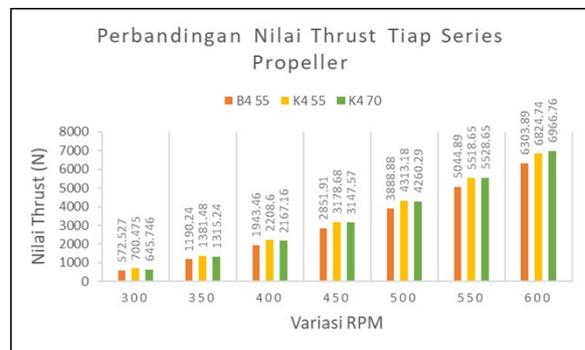
RPM	RPS	Thrust (N)	Torque (Nm)	Efisiensi
300	5	700.475	130.975	58.92%
350	5.833333	1381.48	220.582	59.14%
400	6.666667	2208.6	328.613	55.53%
450	7.5	3178.68	454.174	51.40%
500	8.333333	4313.18	598.753	47.61%
550	9.166667	5518.65	755.787	43.88%
600	10	6824.74	927.854	40.51%

Tabel 13 Hasil perhitungan *efficiency propeller K4 - 70*

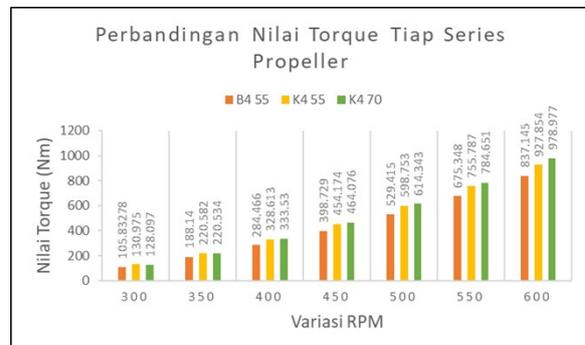
RPM	RPS	Thrust (N)	Torque (Nm)	Efisiensi
300	5	645.746	128.097	55.53%
350	5.833333	1315.24	220.534	56.31%
400	6.666667	2167.16	333.53	53.69%
450	7.5	3147.57	464.076	49.81%
500	8.333333	4260.29	614.343	45.84%
550	9.166667	5528.65	784.651	42.34%
600	10	6966.76	978.977	39.20%

### 3.13 Perbandingan Thrust, Torque dan Efficiency Tiap Series Propeller

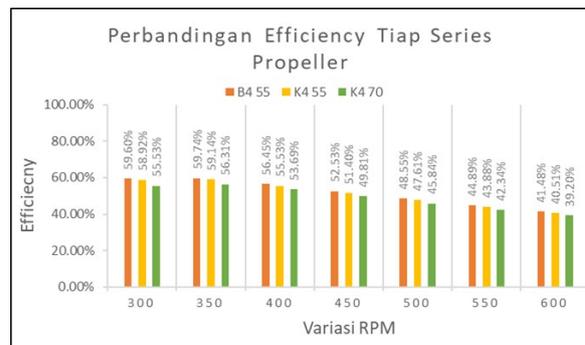
Setelah semua nilai dari hasil simulasi dan perhitungan didapatkan, selanjutnya adalah membandingkan 3 jenis *propeller* yang telah diuji. Untuk mempermudah dalam membandingkan tiap series *propeller*, nilai yang akan dibandingkan akan dibuat dalam bentuk grafik, yaitu grafik *thrust*, *torque* dan grafik *efficiency*. Masing – masing dari grafik tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 13 Grafik perbandingan nilai *thrust* tiap *propeller*



Gambar 14 Grafik perbandingan nilai *torque* tiap *propeller*



Gambar 15 Grafik perbandingan nilai *efficiency* tiap *propeller*

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan penggambaran, bentuk 3D model dari *propeller B series* dan *kaplan series* yang digunakan adalah bentuk 3D model dari *software solidworks* yang telah divalidasi dengan *propeller profile* yang digambar pada *software autocad* dengan nilai *error propeller B series* adalah 1.10 %, *K4 – 55* adalah 4.71% dan *K4 – 70* adalah 3.74%.
2. Berdasarkan simulasi CFD, *performance propeller* yang didapatkan adalah nilai *thrust* dan *torque* untuk masing – masing *series propeller*. *Propeller B series* memiliki nilai *thrust* maksimum sebesar 6303.89 N dan nilai *torque* sebesar 837.145 Nm pada 600 rpm. *Propeller K4 – 55* memiliki nilai *thrust* maksimum sebesar 6824.74 N dan nilai *torque* sebesar 927.854 Nm pada 600 rpm. Dan untuk *propeller K4 – 70* memiliki nilai *thrust* maksimum sebesar 6966.76 N dan nilai *torque* sebesar 978.977 Nm pada 600 rpm.
3. Berdasarkan simulasi CFD, perbedaan *series propeller*, diameter dan *blade area ratio* akan mengakibatkan perbedaan nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency*. *Propeller* dengan *series B* memiliki *thrust* dan *torque* yang lebih kecil tetapi memiliki *efficiency* yang lebih tinggi dari *propeller* dengan *series Kaplan*. Dari hasil tersebut juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar diameter maka *efficiency* dari *propeller* akan semakin meningkat, karena diameter *propeller b series* yang disimulasikan memiliki diameter paling besar. Sedangkan *propeller* dengan luasan *blade area ratio* yang lebih besar akan mengakibatkan nilai *thrust* dan *torque* lebih besar juga, tetapi memiliki *efficiency* yang lebih rendah.
4. Berdasarkan simulasi CFD, dengan perbandingan diameter *propeller B series* sebesar 0.630, *K4 – 55 series* sebesar 0.629 dan *K4 – 70* sebesar 0.619, dapat diketahui bahwa dengan diameter yang lebih kecil *propeller kaplan* memiliki nilai *thrust* dan *torque* yang lebih besar dibandingkan dengan *propeller B series*, sehingga *kaplan series* dapat digunakan sebagai *propeller* yang direkomendasikan apabila nantinya Kapal Pencalang melakukan penggantian *propeller*.

#### 5. PUSTAKA

- [1] M. Tadros, M. Ventura, and C. G. Soares, "Design of propeller series optimizing fuel consumption and propeller efficiency," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 11, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3390/jmse9111226.
- [2] H. Veenman and N. V. Zonen, "Wake Adapted Ducted Propellers," *Wageningen*, pp. 1–132, 1970.
- [3] H. Simbolon, A. Trimulyono, and G. Rindo, "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," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 4, pp. 394–404, 2015.
- [4] A. H. Hutasuhut, W. Anggraeni, and R. Tyasnurita, "Pembuatan Aplikasi Pendukung Keputusan Untuk Peramalan Persediaan Bahan Baku Produksi Plastik Blowing dan Inject Menggunakan Metode ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) Di CV. Asia," *J. Tek. Pomits*, vol. Vol. 3, no. No. 2, p. A-169-A-173, 2014, [Online]. Available: <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/viewFile/8114/1846>.