

Analisis Performa Propeller Kaplan 4-55 dengan Pendekatan *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

Lely Pramesti^{1✉}, Raden Dimas Endro Witjonarko², Bayu Baskoro Aji³

^{1,3} Prodi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

² Prodi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 08-09-2022

Direvisi : 11-09-2022

Diterima : 14-09-2022

Kata Kunci:

Propeller, Kaplan, *Thrust*,
Torque, *Efficiency*, CFD

Keywords:

Propeller, *Kaplan*, *Thrust*,
Torque, *Efficiency*, *CFD*

Corresponding Author :

Lely Pramesti

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo – Surabaya

Email: lelypramesti@ppns.ac.id

ABSTRAK

Propeller merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem propulsi kapal. Performa propeller harus diperhatikan agar dapat tercapai kecepatan yang diinginkan oleh pemilik kapal. Performa yang dimaksud meliputi nilai *thrust*, *torque* dan *propeller efficiency*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai performa propeller Kaplan 4-55 dengan menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Pengujian dilakukan dengan variasi putaran propeller 100 rpm, 300 rpm dan 500 rpm dan *Va* (*velocity of advance*) 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s dan 4 m/s. Hasil dari analisis performa propeller Kaplan 4-55 didapatkan nilai *thrust* maksimum sebesar 255340,807 N pada putaran 500 rpm dengan *Va* sebesar 1 m/s, nilai *torque* maksimum 39274,329 Nm pada putaran 500 rpm dengan *Va* sebesar 1 m/s, sedangkan *efficiency* maksimum ditunjukkan pada variasi rpm 300 dengan *Va* 4 m/s yaitu sebesar 54,198%.

ABSTRACT

*Propeller is a very important component in the ship's propulsion system. The propeller performance must be considered in order to achieve the speed desired by the ship owner. Performance of the propeller are included the value of the thrust, torque and efficiency. This study aims to determine the value of the Kaplan 4-55 propeller performance using the Computational Fluid Dynamic (CFD) approach. Tests were carried out with variations in propeller rotation of 100 rpm, 300 rpm and 500 rpm and *Va* (velocity of advance) 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s and 4 m/s. The results of the analysis of the Kaplan 4-55 propeller performance obtained a maximum thrust is 255340.807 N at 500 rpm rotation with a *Va* of 1 m/s, a maximum torque is 39274.329 Nm at 500 rpm with a *Va* of 1 m/s, while the maximum efficiency is shown at the variation of rpm 300 with *Va* 4 m/s that is 54.198%.*

PENDAHULUAN

Penggerak utama sebagian besar tipe kapal biasanya menggunakan propeller. Tipe propeller yang digunakan juga seharusnya sesuai dengan kebutuhan dan tipe kapal (Arifin & Felayati, 2021). Tugboat berfungsi memandu kapal atau memberikan bantuan untuk mendorong dan menarik kapal saat memasuki wilayah pelabuhan atau galangan kapal sehingga butuh tenaga yaitu gaya dorong yang besar dari hasil putaran propeller. Menurut Trimulyono, (2004) sesuai fungsi kerjanya maka Tugboat harus memiliki sistem propulsi yang mumpuni agar dapat menghasilkan *thrust* optimal. Tugboat biasanya menggunakan tipe propeller Kaplan-*Series* karena memiliki kemampuan yang baik jika dipasang pada kapal dengan tenaga yang cukup besar dan berkecepatan rendah (Maulana, M. D., Zakki, F. A., Manik, 2020). Pada penelitian ini Tugboat yang dibahas menggunakan propeller Kaplan 4-55.

Selain menyesuaikan dengan kebutuhan dan tipe kapal, dalam pemilihan propeller harus dipertimbangkan performanya. Performa propeller yang dimaksud adalah nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency* yang pada kondisi *open water test* ditunjukkan pada diagram KT – KQ – J. Setiap propeller kapal memiliki karakter dan performa yang tentunya berbeda. Oleh sebab itu pembahasan dan pengkajian karakter propeller kapal tidak dapat disamakan pada bentuk maupun tipe propeller satu dengan lainnya (Setyabudi et al., 2016). Beberapa aspek harus diperhatikan sehingga kapal dapat mencapai kecepatan optimum seperti halnya perencanaan lambung kapal, sistem permesinan dan propulsi kapal (Molland et al., 2011). Menurut Simbolon et al., (2015), nilai *thrust* yang optimal pada putaran propeller tidak luput dari pengaruh dari desain propeller yang baik. Dengan nilai *thrust* yang tinggi diharapkan nilai *torque* lebih rendah sehingga *efficiency* yang dihasilkan oleh propeller menjadi lebih tinggi.

Beberapa penelitian dilakukan dengan menggunakan metode komputasi atau yang dikenal dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) untuk menganalisis performa dari berbagai macam tipe propeller. Abidin et al., (2012) menggunakan CFD sebagai metode dalam menganalisis performa propeller B-*Series* untuk meminimalisir biaya pengujian menggunakan *prototype* dan waktu pengujian yang dirasa cukup lama. Metode yang digunakan adalah pendekatan dua tipe *meshing* yaitu *structure* dan *unstructure meshing*. Dengan pendekatan tersebut disimpulkan bahwa dalam menganalisis performa propeller B-*Series* yang dilakukan dengan jenis *unstructure meshing* hasil yang didapatkan lebih baik jika dibandingkan dengan jenis *structure meshing*. Lumbanraja et al., (2021) memodifikasi diameter dan *pitch* propeller B-*Series* pada Kapal Tugboat dengan menggunakan metode komputasi atau CFD dan mendapatkan nilai *thrust* maksimum, nilai *torque* minimum dan nilai *efficiency* yang paling maksimum pada kondisi tertentu. Selain menganalisis performa propeller, CFD dengan pendekatan *single rotating reference frame method* digunakan oleh Afif et al., (2012) untuk membuktikan hubungan antara *thrust* dan sudut *rake* terhadap aliran fluida tipe propeller B-*Series* dan mengetahui besar sudut *rake* pada propeller B-*Series* yang paling optimum. Dwi Putra et al., (2020) menyajikan sebuah simulasi CFD pada propeller Kaplan-*Series* untuk mengetahui performa propeller Kapal Selam yang dihasilkan jika terjadi perubahan jumlah daun propeller dan sudut *rake*. Wibowo et al., (2017) menganalisis propeller B-*Series*, Kaplan-*Series* dan Au-*Series*. Pada setiap model propeller yang dianalisis mengalami perbedaan nilai *thrust*, *torque* dan efisiensi yang dihasilkan. Hasil analisis menggunakan CFD menunjukkan bahwa nilai *thrust* yang paling optimum dihasilkan pada model propeller Kaplan-*Series* Ka 4-70 jika dibandingkan dengan model lain. Dari beberapa referensi terkait tidak banyak analisis terhadap performa propeller Kaplan-*Series* karena propeller B-*Series* masih mendominasi dalam penggunaan di lapangan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan analisis performa propeller Kaplan-*Series* yaitu Ka 4-55 yang hanya digunakan oleh kapal-kapal tertentu menggunakan metode CFD khususnya Kapal Tugboat pada penelitian ini.

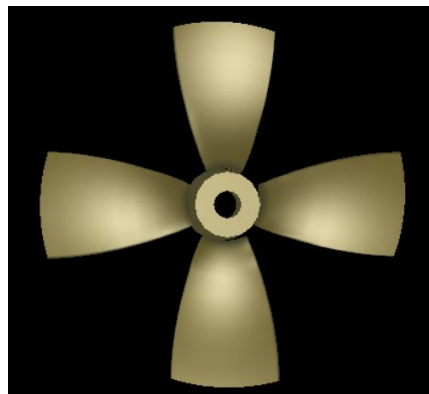
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan propeller Kaplan-*Series* 4-55 untuk disimulasikan. Propeller Kaplan digambarkan sebagai propeller yang menggunakan reaksi aliran aksial. Dalam penelitian ini, analisis nilai performa yaitu *thrust*, *torque* dan *efficiency* dilakukan berdasarkan metode simulasi

CFD dengan beberapa variasi $n_{Prop}=100$ rpm, $n_{Prop}=300$ rpm, dan $n_{Prop}=500$ rpm dan V_a 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s.

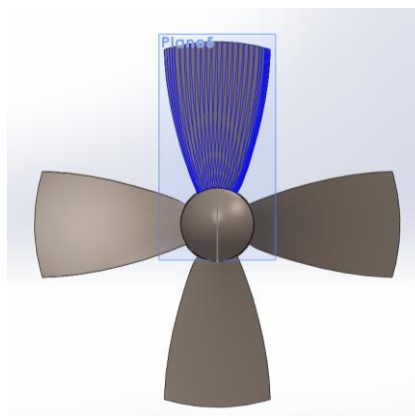
Model propeller dibuat sesuai dengan data ukuran utama propeller pada Tabel 1. Dalam penelitian ini pemodelan propeller dilakukan menggunakan *PropCad Software*. Hasil dari pemodelan propeller menggunakan *Propeller Coordinate Processing Software* ditampilkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Dimensi Utama Propeller		
No	Parameter Propeller	Dimensi
1	Tipe Propeller	Ka 4-55
2	Diameter Propeller	1,7 m
3	<i>Pitch</i>	1,6 m
4	Jumlah Daun Propeller	4
5	<i>Blades Area Ratio</i>	0,55
6	<i>Blades Section</i>	Kaplan-Series
7	Sudut <i>Rake</i>	0°
8	n_{Prop} (Putaran Propeller)	357 rpm



Gambar 1. Modeling Propeller Menggunakan PropCad

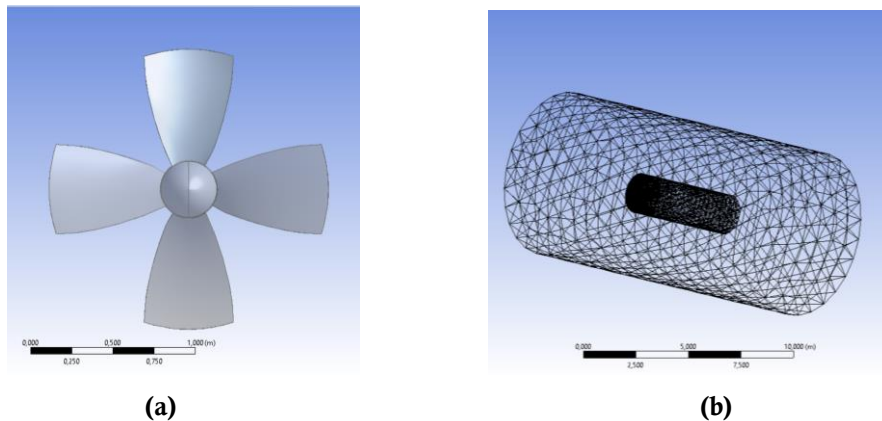
Langkah selanjutnya pembuatan model Ka 4-55 menggunakan Solidwork mengacu pada koordinat 3D *modelling* yang sebelumnya dikerjakan dengan PropCad. Dibawah ini adalah hasil visual desain geometri pada Solidwork yang telah di validasi dengan data *propeller profile*.



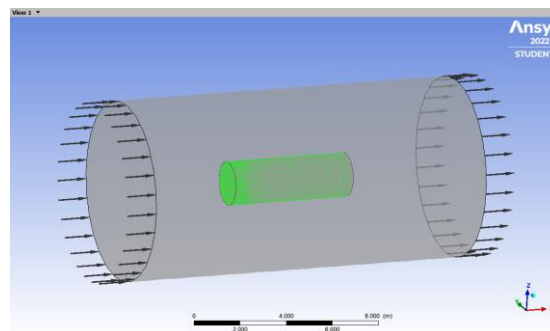
Gambar 2. Pemodelan Propeller Ka 4-55 Menggunakan Solidwork

Cara mengetahui nilai *thrust* dan *maximum torque* pada propeller Ka 4-55 ini digunakan Ansys CFX *Software*. Proses simulasi *Computational Fluid Dynamic* dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu tahap *geometry*, *mesh*, *setup*, *solution* dan *result*. *Geometry* merupakan tahap pertama simulasi yaitu dengan pembuatan model atau *import* dari hasil pemodelan perangkat lunak lainnya. *Geometry* digunakan untuk memastikan *solid* tidaknya model dan untuk membuat *domain* fluida pengujian, *interface domain*, *Boolean Object* dan pemberian nama setiap *domain*. *Meshing* untuk

menentukan ukuran tiap elemen dan mengatur kedetailan melalui ukuran elemen yang digunakan. *Setup* yang dilakukan saat tahap *meshing* nantinya akan berpengaruh pada kapasitas *file* yang dibentuk, jika kerapatan *meshing* semakin kecil maka hasil *file* menjadi berukuran besar, begitupun sebaliknya (Maulana, M. D., Zakki, F. A., Manik, 2020). *Setup* adalah tahap untuk menentukan batasan, kecepatan dan rpm pada tiap *domain* fluida. Pada proses ini ditentukan juga seberapa besar *error* dari hasil simulasi. *Solution* merupakan langkah untuk menghitung iterasi sesuai persamaan dasar dinamika fluida pada CFD. Sedangkan pada tahap *result* dapat dilihat hasil dari *solution*. Pada penelitian ini hasil yang diinginkan berupa nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency* pada propeller Kaplan 4-55.



Gambar 3. (a) *Geometry Propeller Ka-55* pada Simulasi CFD, (b) Tahap *Meshing*



Gambar 4. Tampilan *Setup Domain Rotary*

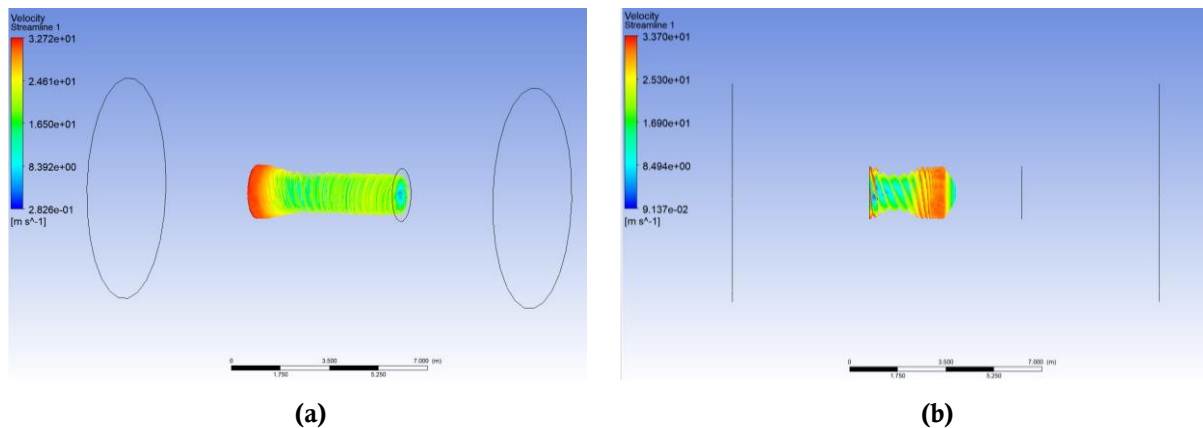
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis CFD *Thrust*, *Torque* dan *Efficiency Propeller Kaplan 4-55 Existing*

Dari hasil pemodelan dan beberapa tahap simulasi CFD yang dilakukan pada model propeller Kaplan 4-55 sesuai data *propeller profile* dapat dihasilkan *result* untuk melihat arah aliran dari perputaran propeller pada Gambar 5. Dari hasil simulasi juga didapatkan nilai *thrust* sebesar 62138,400 N, nilai *torque* sebesar 16871,100 Nm dan *efficiency* sekitar 54,000 % pada tampilan Gambar 5.

Results	Results
Force on Propeller 62138.4 [N]	Torque on Propeller -16871.1 [N m]

Gambar 5. Hasil Simulasi Propeller Kaplan 4-55 (a) Nilai *Thrust* (b) Nilai *Torque*



Gambar 6. 3D Streamline untuk Aliran Fluida pada (a) Silinder Domain Rotary, (b) Hasil Putaran Propeller Ka 4-55

Validasi

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan hasil yang didapatkan dari simulasi CFD dengan perhitungan rumus menggunakan acuan grafik KT – KQ – J diagram tipe Ka 4-55 dan dengan data Kapal Tugboat yang memiliki $V_s=11$ knots dengan $C_b=0,554$ dan menggunakan tipe *twin screw propeller*.

$$w = 0,55 C_b - 0,20 \quad (1)$$

$$V_a = (1 - w) \times V_s \quad (2)$$

$$J = \frac{V_a}{n D} \quad (3)$$

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

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

$$\eta_o = \frac{T \times V_a}{2 \times \pi \times Q \times n} \quad (6)$$

Keterangan:

w = Wake friction

V_a = Velocity of advance (m/s)

J = Koefisien advance propeller

n = Putaran propeller (rps)

D = Diameter propeller (m)

T = Thrust propeller (N)

K_T = Koefisien gaya dorong propeller

Q = Torque propeller (Nm)

K_Q = Koefisien torsi propeller

ρ = Massa jenis fluida (1025 kg/m^3)

η_o = Efficiency propeller

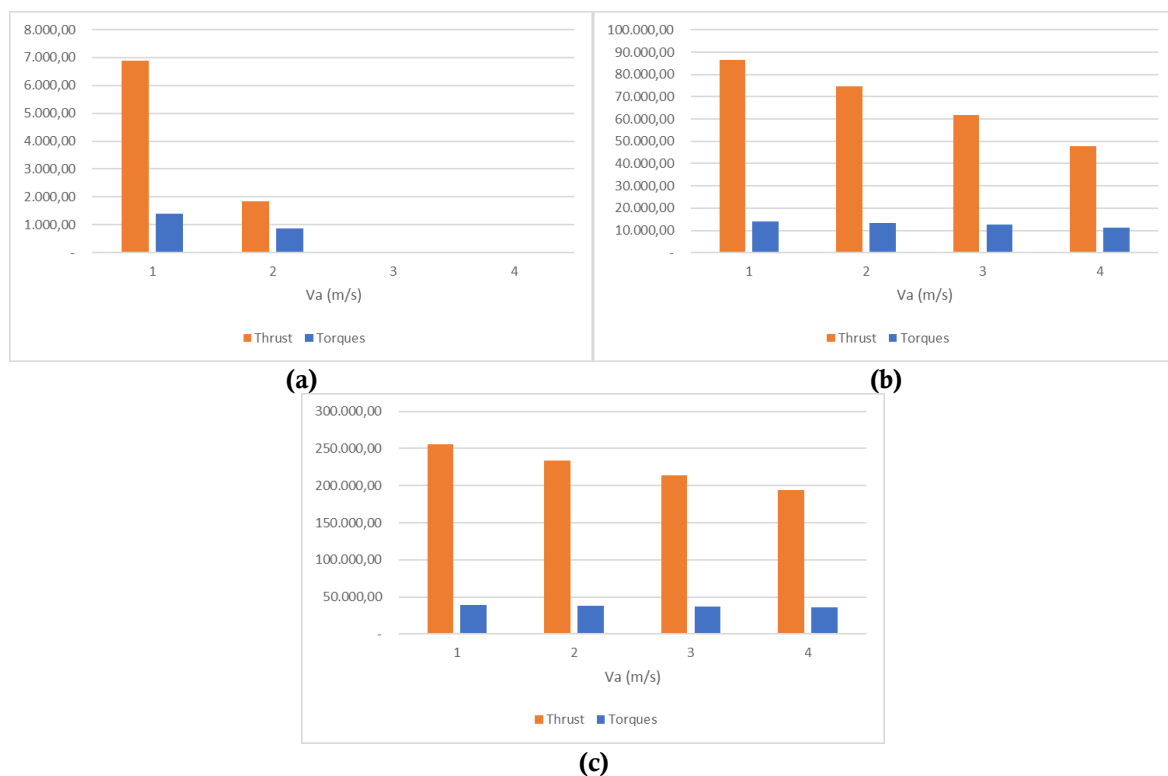
Dengan persamaan 2 didapatkan nilai *velocity of advance* (V_a) dari model propeller existing sebesar 5,066 m/s. Sehingga dapat digunakan sebagai acuan menghitung nilai J dan didapatkan nilai 0,501. J atau nilai koefisien advance diplotkan pada KT KQ J diagram *open water test* Ka 4-55 dengan nilai P/D 0,941 untuk mendapatkan nilai K_T dan K_Q yaitu 0,210 untuk K_T dan 0,031

untuk KQ. Kemudian dengan persamaan 4 didapatkan nilai T atau *thrust* sebesar 63646,244 N dan menggunakan persamaan 5 didapatkan nilai Q atau *torque* sebesar 16126,746 Nm dan dengan persamaan 6 dihasilkan nilai *efficiency* sebesar 53,507 %.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual Terhadap Model Propeller Existing

Variabel	Simulasi CFD	Perhitungan Manual	Error
Thrust (N)	62138,400	63646,244	2,369 %
Torque (Nm)	16871,100	16126,746	4,615 %
Efficiency (%)	54,000	53,507	0,921 %

Dari Tabel 2 dapat disimpulkan nilai *error* antara hasil simulasi CFD dan hasil perhitungan manual sangat kecil, sehingga model yang dibuat pada simulasi ini dianggap identik dengan propeller *existing* sesuai data. Sehingga analisis dapat dilanjutkan dengan beberapa variasi yang telah ditentukan yaitu variasi rpm dan V_a (*velocity of advance*) dan hasilnya disajikan pada Gambar 7 dan 8.

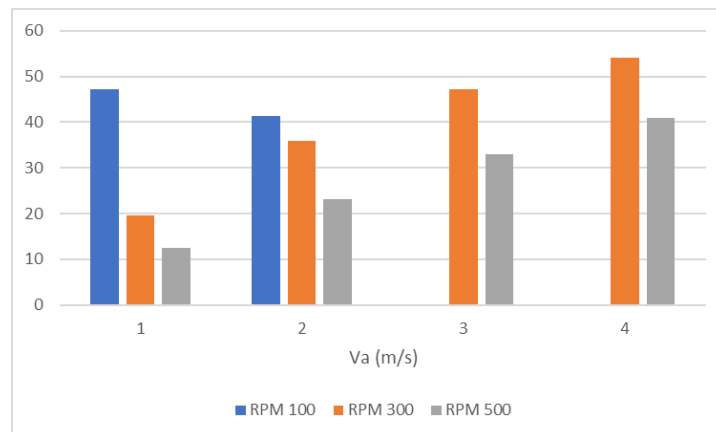


Gambar 7. Nilai Thrust dan Torque Ka 4-55 Hasil Simulasi pada Variasi (a) Putaran Propeller 100rpm, (b) Putaran Propeller 300rpm, (c) Putaran Propeller 500rpm

Berdasarkan hasil simulasi uji performa pada Gambar 7 (c) semakin tinggi angka putaran (rpm) yang digunakan maka nilai *thrust* dan *torque* yang dihasilkan akan semakin tinggi pula. Hal ini sesuai dengan persamaan $T = K_T \times \rho \times n^2 \times D^4$ maupun persamaan $Q = K_Q \times \rho \times n^2 \times D^5$ yang mana nilai *thrust* maupun *torque* berbanding lurus dengan putaran (rpm) propellernya. Pada hasil penelitian Lumbanraja et al., (2021), menyebutkan bahwa hasil variasi kecepatan (putaran dalam rpm) yaitu semakin besar kecepatan putaran maka nilai *thrust* dan *torque* yang dihasilkan dari sebuah propeller juga semakin besar, dibuktikan dengan kecepatan 230 rpm diperoleh nilai *thrust* yang lebih besar dari pada nilai *thrust* dan *torque* yang berputar dengan kecepatan 180 rpm, 190 rpm, dan 210 rpm. Sedangkan semakin tinggi nilai *velocity advance* (V_a) maka nilai *thrust* dan *torque* yang dihasilkan akan semakin menurun sesuai Gambar 7 (a), (b) dan (c). Karena hubungan antara *velocity* dan *thrust* adalah berbanding terbalik, begitu juga dengan hubungan antara *velocity* dan *torque*. Dari hasil simulasi disimpulkan nilai *thrust* tertinggi berada pada putaran 500 rpm dengan V_a sebesar 1 m/s yaitu sebesar 255340,807 N. Nilai terendah berada pada putaran 100 rpm untuk

V_a sebesar 3 m/s. Pada variasi tersebut *thrust* yang dihasilkan telah menyentuh angka 0 N. Sedangkan nilai *torque* tertinggi berada pada putaran 500 rpm dengan V_a sebesar 1 m/s yaitu sebesar 39274,329 Nm. Nilai terendah berada pada putaran 100 rpm untuk V_a sebesar 3 m/s. Pada variasi tersebut *torque* yang dihasilkan juga telah menyentuh angka 0 Nm.

Pada Gambar 8, nilai *efficiency* diperoleh dari pengolahan data hasil simulasi. *Efficiency* tertinggi ditunjukkan pada variasi rpm 300 dengan V_a 4 m/s yaitu sebesar 54,198% dan mengalami penurunan sesuai dengan nilai variasi V_a yang lebih kecil karena berdasarkan persamaan 6 ditegaskan bahwa putaran dan *velocity of advance* berbanding terbalik. Sedangkan *efficiency* terendah atau tidak terdefinisi mulai terlihat pada variasi rpm 100 dengan V_a 3 dan 4 m/s karena nilai *thrust* dan *torque* pada variasi tersebut juga telah mencapai angka 0 N dan 0 Nm atau bias disimpulkan tidak terdefiniskan.



Gambar 8. Nilai *Efficiency* Ka 4-55 Hasil Simulasi pada Variasi Rpm dan V_a

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diberikan di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: 1) Karakteristik performa pada propeller Kaplan 4-55 dengan kondisi *open water test* menegaskan bahwa semakin tinggi angka putaran (rpm) yang digunakan maka nilai *thrust* dan *torque* yang dihasilkan akan semakin tinggi pula. Sedangkan semakin tinggi nilai *velocity of advance* (V_a) maka nilai *thrust* dan *torque* yang dihasilkan akan semakin menurun. Sehingga sesuai dengan persamaan yang ada, hubungan antara *thrust* dan *torque* adalah berbanding lurus dengan putaran (rpm) propeller dan berbanding terbalik dengan *velocity of advance* (V_a). 2) Nilai *thrust* tertinggi sebesar 255340,807 N pada putaran 500 rpm dengan V_a sebesar 1 m/s, nilai *torque* tertinggi 39274,329 Nm pada putaran 500 rpm dengan V_a sebesar 1 m/s, sedangkan *efficiency* tertinggi ditunjukkan pada variasi rpm 300 dengan V_a 4 m/s yaitu sebesar 54,198%. 3) Dengan variasi rpm dan V_a yang disimulasikan disimpulkan bahwa propeller Ka 4-55 pada Kapal Tugboat dengan kecepatan V_s 11 knots, diameter 1,7 m, lebih efisien dan cocok jika dioperasikan pada putaran kisaran 300 rpm dan dengan V_a 4 m/s karena dihasilkan nilai *efficiency* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan jika dioperasikan pada putaran *existing* propeller yaitu 357 rpm.

Saran

Pada penelitian ini belum membahas pengaruh variasi sudut *rake* propeller dan pengaruh pengurangan diameter terhadap performa propeller Kaplan 4-55. Selain itu peneliti belum melakukan perbandingan performa antara propeller Kaplan-Series lainnya, sehingga hasil yang didapatkan pada penelitian hanya dapat menyimpulkan dan merekomendasikan penggunaan variasi putaran yang tidak terlalu jauh dengan propeller *existing* guna meningkatkan nilai *efficiency*.

REFERENSI

- Abidin, M. Z. A., Abidin, M. Z. A. Z., & Adji, S. W. (2012). Analisa erformance ropeller B-Series dengan pendekatan structure dan unstructure meshing. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), G241–G246.
- Afif, M., Arief, I., & Musriyadi, T. (2012). Propeller Terhadap Thrust Dengan Menggunakan Pendekatan Single Rotating Reference Frame Metode (Cfd). *Digital Library Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Arifin, M. D., & Felayati, F. M. (2021). Cavitation Analysis of Kaplan-Series Propeller: Effect of Pitch Ratio and nProp using CFD. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 6(2), 114–124. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v6i2.8747>
- Dwi Putra, Y., Zakki, A. F., & Trimulyono, A. (2020). Perancangan Propeller Tipe Kaplan-Series pada Kapal Selam Komersial dengan Variasi Sudut Rake dan Jumlah Daun untuk Mengoptimalkan Thrust. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(3), 262. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/>
- Lumbanraja, K. C. P., Chrismianto, D., & Samuel, S. (2021). Perhitungan Nilai Maksimum Thrust, Torque, dan Efficiency Propeller Tipe B-4 Series pada Kapal Tugboat dengan Modifikasi Diameter, Rake, dan Pitch menggunakan Metode Komputasi. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 5(1), 63–78. <https://doi.org/10.26760/jrh.v5i1.63-78>
- Maulana, M. D., Zakki, F. A., Manik, P. (2020). Analisa Performance Propeller Tipe KA4-70 dengan Variasi Flap Angle End Plate dan Sudut Rake. *Teknik Perkapalan UNDIP*, 8(1), 11–20.
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2011). Ship resistance and propulsion: Practical estimation of ship propulsive power. In *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power* (Vol. 9780521760522). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511974113>
- 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 (Ae/Ao) Menggunakan Metode Cfd. *Kapal*, 13(3), 109. <https://doi.org/10.14710/kpl.v13i3.12352>
- 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.
- Trimulyono, A. (2004). Analisa Efisiensi Propeller B-Series Dan Kaplan Pada Kapal Tugboat Ari 400 Hp Dengan Variasi Jumlah Daun . *Procedia*, 5(coba), 112–120.
- Wibowo, G. P., Chrismianto, D., Perkapalan, D. T., & Diponegoro, U. (2017). Analisa Nilai Thrust Optimum Propeler B4-70, Ka4-70 Dan Au4-59 Pada Kapal Tugboat Pelabuhan Paket-Ii 2X1850Hp Dengan Variasi Sudut Rake Menggunakan Cfd. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1), 27–37.