

# Simulasi Uji Performa Propeller Saltwater Series II dengan Computational Fluid Dynamics

Muhammad Rifqi Zulfahmi<sup>1</sup>, Lely Pramesti<sup>1\*</sup>, R Dimas Endro Witjonarko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodi Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

<sup>2</sup> Prodi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Email: [muhammadrifqi@student.ppns.ac.id](mailto:muhammadrifqi@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>, [lelypramesti@ppns.ac.id](mailto:lelypramesti@ppns.ac.id)<sup>1</sup>, [dimasend@ppns.ac.id](mailto:dimasend@ppns.ac.id)<sup>2</sup>

## Abstrak

Sistem propulsi merupakan salah satu sistem penunjang pada kapal, komponen penting yang terdapat pada sistem propulsi adalah propeller. Propeller Yamaha *saltwater series II* merupakan propeller dengan *pitch* 19" dan diameter 15,25". Propeller ini memiliki putaran tinggi hingga mencapai 6000 rpm. Dikarenakan penggunaan propeller tersebut berdasarkan rekomendasi tanpa dilakukan pertimbangan performa propeller maka dilakukan pengujian propeller menggunakan metode *computational fluid dynamics*. Sebelum dilakukan simulasi terdapat proses pengukuran dan pemodelan propeller dengan mempertimbangkan aspek penting seperti luasan *blade*, sudut *root*, panjang *root*, sudut *rake* dan sudut *skew* yang digunakan sebagai acuan dalam memvalidasi kemiripan model dan realitanya. Setelah aspek penting tersebut terpenuhi, dilakukan simulasi uji performa propeller, hasilnya mendapatkan nilai *thrust* maksimum sebesar 131548 N, *torque* sebesar 14337,6 Nm dan *efficiency* maksimum sebesar 46,57%.

**Kata kunci:** *computational fluid dynamics*, performa, *saltwater series ii propeller*

## Abstract

The propulsion system is one of the supporting systems on a ship, a crucial component of the propulsion system is the propeller. The Yamaha Saltwater Series II propeller has a pitch of 19 inches and a diameter of 15,25 inches. This propeller has a high rotation speed, reaching up to 6000 rpm. Due to the use of this propeller based on recommendations without considering its performance, propeller testing was conducted using the computational fluid dynamics method. Before the simulation, there was a process of measuring and modeling the propeller, considering important aspects such as blade area, root angle, root length, rake angle, and skew angle, which were used as references to validate the similarity of the model to reality. After these important aspects were satisfied, a simulation of propeller performance was conducted, resulting in a maximum thrust value of 131548 N, torque of 14337,6 Nm and a maximum efficiency of 46,57%.

**Keywords:** *computational fluid dynamics*, performance, *saltwater series ii propeller*

## 1. Pendahuluan

Kapal menjadi alat transportasi air yang sering digunakan untuk mengangkut penumpang maupun barang dari satu perairan ke perairan lainnya. Kapal dapat bergerak dikarenakan adanya sistem propulsi dan sistem pendukung lainnya. Propulsi kapal menjadi bagian yang paling penting dalam keberhasilan menjalankan fungsinya (Waskito, 2020). Bagian utama sistem propulsi yaitu motor penggerak utama dan sistem transmisi yang terdiri dari propeller beserta porosnya. Berdasarkan penempatannya sistem propulsi kapal dapat digolongkan menjadi sistem outboard engine dan inboard engine. Menurut Wibawa, B S. A, & Reza (2013) *Inboard engine* adalah motor penggerak kapal yang terletak di dalam lambung kapal atau di dalam kamar mesin dan terpasang duduk pada pondasi mesin sehingga *propeller shaft* harus menembus dinding buritan. Sedangkan *outboard engine* adalah motor penggerak kapal yang terpasang duduk pada transom buritan kapal. Masing-masing jenis sistem memiliki kekurangan dan kelebihan. Pada *inboard engine* kelebihan yang dimiliki antara lain jangka waktu penggunaan yang relatif lebih awet dan biaya operasional lebih irit. Sedangkan pada *outboard engine* memiliki kelebihan mudah dalam perawatan, *compact* dan praktis dalam proses instalasinya.

Pada kondisi yang terjadi di lapangan, kapal dengan motor penggerak berjenis *outboard engine* umumnya menggunakan propeller tipe tertentu yang biasanya memiliki diameter yang kecil sebagai alat penyalur daya dari engine tanpa dilakukan perhitungan dan analisis terkait performa propeller tersebut. Berbeda dengan kajian teoritis yang biasanya setelah menghitung kebutuhan daya *engine* dan memilih *engine* maka pemilihan propeller dilakukan dengan suatu perhitungan tertentu terkait performa, efisiensi dan kavitasi serta dilakukan *plotting engine propeller matching*. Berdasarkan data yang ada menurut Yamaha (2022) *propeller saltwater series II* merupakan propeller dengan putaran tinggi, rotasi permenit pada propeller ini mencapai 5700 hingga 6000 rpm. Propeller tipe ini umumnya sebagai transmisi penyalur daya pada motor tipe *outboard engine*. Seharusnya dalam pemilihan propeller selain harus menyesuaikan kebutuhan dan tipe kapal juga harus mempertimbangkan performanya. Performa yang dimaksud yaitu nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency*. Menurut Pramesti, et al., (2022) dan Setyabudi et.al., (2016), setiap propeller kapal memiliki karakter dan performa yang berbeda sehingga pengkajian karakter propeller tidak dapat disamakan. Pada penelitiannya hasil dari analisis performa propeller tipe Kaplan *series* yang umumnya digunakan pada kapal tugboat menunjukkan bahwa propeller Ka 4-55 lebih cocok digunakan pada

kondisi putaran 300 rpm dengan kecepatan *advance* 4 m/s karena terbukti dalam kondisi tersebut menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan jika dioperasikan pada putaran yang lebih tinggi dari 300 rpm. Menurut Simbolon et.al., (2015), gaya dorong optimal pada putaran propeller dipengaruhi oleh desain propeller itu sendiri. Desain propeller yang baik diharapkan menghasilkan gaya dorong atau *thrust* lebih tinggi daripada torsi atau *torque* sehingga efisiensi yang dihasilkan akan lebih tinggi. Beberapa penelitian yang ada umumnya mengkaji performa propeller tipe B-Series, Kaplan Series maupun Au Series. Gatete, et.al., (2018) menyajikan tinjauan mengenai propeller kapal khususnya pada propeller yang digunakan pada *outboard engine*. Sehingga analisis performa untuk *propeller saltwater series II* juga bukan hal yang tidak mungkin untuk dilakukan.

Berdasarkan permasalahan di atas maka perlu dilakukan kajian khusus yang bertujuan untuk mengetahui performa propeller Yamaha *saltwater series II* yang dipilih berdasarkan rekomendasi *maker* untuk tipe *outboard engine*. Metode yang digunakan untuk mengetahui performa propeller tersebut adalah dengan simulasi *computational fluid dynamics* (CFD). CFD menjadi metode komputasi dalam menganalisis performa propeller untuk menekan biaya pengujian yang membutuhkan *prototype* serta waktu pengujian yang lama (Abidin et al., 2012). Wibowo et.al., (2017) juga menggunakan CFD untuk menganalisis performa propeller tipe B-Series, Kaplan Series maupun Au Series. Sehingga CFD ini juga menjadi metode simulasi dalam penelitian ini.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan propeller Yamaha *saltwater series II* untuk disimulasikan. Dalam penelitian ini analisis dilakukan pada nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency* menggunakan metode CFD dengan variasi putaran 6000 rpm, 5500 rpm dan 5000 rpm dan dengan variasi kecepatan aliran mulai dari 1 m/s sampai dengan 11,44 m/s.

Sebelum proses simulasi dilakukan perlu adanya gambar *propeller arrangement* yang valid, dikarenakan kurangnya data tersebut maka dilakukan pengukuran manual dengan beberapa parameter penting seperti validasi berupa *rake angle*, *blade area ratio*, sudut *root* dan panjang *root* yang menempel pada *boss propeller*. Metode pendekatan *polynomial* digunakan untuk membuat desain propeller dan menghasilkan tipe yang optimal (Suratno, et.al., 2020). Metode *polynomial lagrange* merupakan metode numerik yang digunakan untuk membuat bentuk *airfoil* dalam setiap *section* propeller (Chapra & Canale, 2015).

**Tabel 1. Leading Edge Thickness**

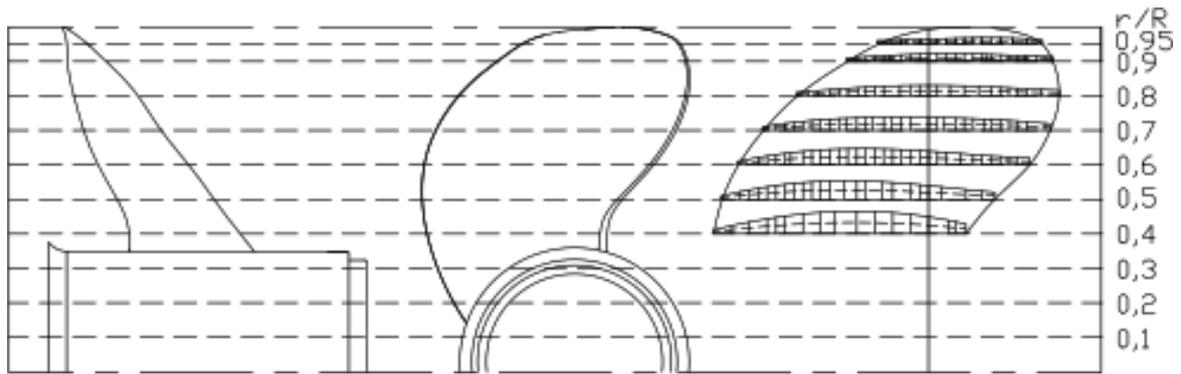
r/R	P	-1	-0,95	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1
0,95		2,00	2,02	2,05	2,11	2,17	2,25	2,33	2,42	2,51	2,61	2,70
0,9		2,00	2,11	2,23	2,48	2,75	3,01	3,27	3,52	3,74	3,93	4,10
0,8		2,00	2,31	2,61	3,22	3,79	4,32	4,78	5,18	5,49	5,72	5,86
0,7		2,00	2,77	3,46	4,63	5,55	6,25	6,76	7,11	7,32	7,41	7,40
0,6		2,00	3,08	4,07	5,78	7,12	8,10	8,74	9,06	9,08	8,83	8,35
0,5		2,00	3,34	4,58	6,70	8,34	9,50	10,18	10,40	10,21	9,65	8,79
0,4		2,20	3,60	4,93	7,33	9,35	10,94	12,04	12,64	12,70	12,22	11,17

**Tabel 2. Trailing Edge Thickness**

r/R	P	+1	+0,95	+0,9	+0,8	+0,7	+0,6	+0,5	+0,4	+0,3	+0,2	+0,1
0,95		2,50	2,74	2,95	3,27	3,47	3,57	3,58	3,51	3,39	3,22	3,02
0,9		2,60	2,67	2,76	3,01	3,31	3,62	3,90	4,13	4,29	4,36	4,34
0,8		3,21	3,35	3,51	3,86	4,24	4,61	4,97	5,28	5,55	5,75	5,87
0,7		3,70	4,02	4,32	4,88	5,36	5,78	6,15	6,47	6,74	6,97	7,15
0,6		3,89	3,99	4,11	4,41	4,76	5,15	5,57	6,01	6,45	6,89	7,31
0,5		3,96	4,12	4,28	4,62	4,99	5,37	5,76	6,15	6,55	6,94	7,33
0,4		5,42	5,67	5,91	6,38	6,84	7,27	7,70	8,10	8,49	8,87	9,22

Dimensi utama pada *propeller* Yamaha *saltwater series II* yaitu sebesar 15,25 *inch* dan *pitch* sebesar 19 *inch*. Dari dimensi utama berikut dilakukan pengukuran terhadap detail setiap bilah propeller yang meliputi ketebalan propeller dan luasan area propeller. Pengukuran dilakukan dengan *ultrasonic test* dan beberapa peralatan pendukung. Tabel 1 dan tabel 2 merupakan dimensi detail dari propeller Yamaha *saltwater series II*.

Langkah selanjutnya adalah penggambaran *propeller arrangement* secara 2D seperti pada Gambar 1 yang menunjukkan secara berurutan dari kanan yaitu gambar *developed*, *projected* dan *side view* dari propeller Yamaha *saltwater series II*.

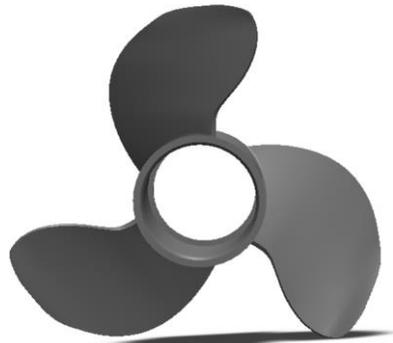


Gambar 1. 2D Drawing of Propeller Arrangement

Dari data dan dimensi yang lengkap dilakukan pembuatan model secara 3D seperti Gambar 2. Dengan metode pengukuran tertentu dilakukan validasi pemodelan untuk menguji keakuratan dimensi propeller antara bentuk asli dengan bentuk desain terutama terhadap nilai luasan *blade*, sudut *root*, panjang *root*, sudut *rake* dan sudut *skew*. Pada Tabel 3 merupakan nilai hasil validasi antara propeller original dan propeller desain hasil pemodelan pada perangkat lunak 3D.

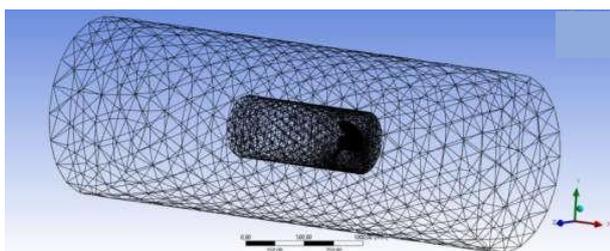
**Tabel 3. Hasil Validasi Propeller**

Validasi	Propeller Original	Propeller Model	Error (%)
Luasan <i>Blade</i>	19800 mm <sup>2</sup>	20519,53 mm <sup>2</sup>	3,63 %
Sudut <i>Root</i>	90°	90°	0%
Panjang <i>Root</i>	150 mm	149,24 mm	0,51%
Sudut <i>Rake</i>	22°	22°	0%
Sudut <i>Skew</i>	40°	38,28°	4,49%

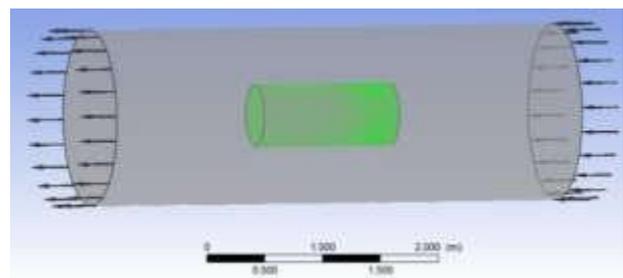


Gambar 2. 3D Model Propeller Yamaha *Saltwater Series II*

Dengan hasil yang didapatkan maka dapat disimpulkan propeller desain yang dimodelkan hampir mendekati bentuk asli propeller Yamaha *saltwater series II* yang dilanjutkan akan dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency*. Simulasi pada CFD dilakukan dengan beberapa tahap antara lain *geometry*, *meshing*, *setup*, *solution* dan *result*. Selain *setup*, *meshing* merupakan tahap yang cukup penting dan menentukan apakah model dapat analisis lebih lanjut atau tidak. Menurut Maulana, et.al, (2020), kerapatan *meshing* akan berpengaruh terhadap hasil dan kapasitas *file* yang dibentuk.



o (b)



Gambar 3. (a) Tahap *Meshing* (b) *Setup Domain Rotary*

### 3. Hasil dan Diskusi

Setelah dilakukan pemodelan dan beberapa tahap simulasi CFD sesuai data profil propeller Yamaha *saltwater*

series II, simulasi uji performa pada kondisi rpm yang divariasikan yaitu 6000 rpm, 5500 rpm dan 5000 rpm dengan  $V_a$  yang sama yaitu 11,44 m/s dihasilkan nilai *thrust* dan *torque* yang berbeda. Pada variasi rpm 6000 menghasilkan nilai *thrust* sebesar 126034 N dan nilai *torque* sebesar 13584,1 Nm, sedangkan pada kondisi rpm 5500 menghasilkan nilai *thrust* sebesar 104306 N dan nilai *torque* sebesar 11255,8 Nm, sedangkan hasil pada kondisi rpm 5000 menghasilkan nilai *thrust* 84482,4 N dan nilai *torque* sebesar 9137,1 Nm. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4 untuk variasi rpm 6000 dan  $V_a$  11,44 m/s.



Gambar 4. Hasil Simulasi Propeller Yamaha Saltwater Series II

Selanjutnya simulasi dilakukan hingga membentuk sebuah grafik dengan menggunakan beberapa variasi parameter putaran yaitu 6000 rpm, 5500 rpm dan 5000 rpm sedangkan parameter kecepatan *advance* ( $V_a$ ) divariasikan sebanyak mungkin sampai melebihi kecepatan  $V_a$  kapal yaitu 11,44 m/s sehingga dapat dibuat grafik atau diagram seperti pada Gambar 5. Diagram tersebut memiliki *range* nilai tertentu sesuai dengan karakteristik propeller yang ditunjukkan dengan hasil perhitungan nilai *thrust coefficient* (KT), *torque coefficient* (KQ), *advance coefficient* (J) dan *efficiency* ( $\eta_o$ ). Masing-masing variable dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (Carlton, J, 2007):

$$T = K_T \times \rho \times n^2 \times D^4 \quad (1)$$

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

$$J = V_a / (n D) \quad (3)$$

$$\eta_o = (T \times V_a) / (2 \times \pi \times Q \times n) \quad (4)$$

Keterangan:

$V_a$  = Velocity of advance (m/s)

J = Koefisien advance

propellern = Putaran

propeller (rps)

D = Diameter propeller

(m)T = Thrust propeller

(N)

KT = Koefisien gaya dorong

propellerQ = Torque propeller

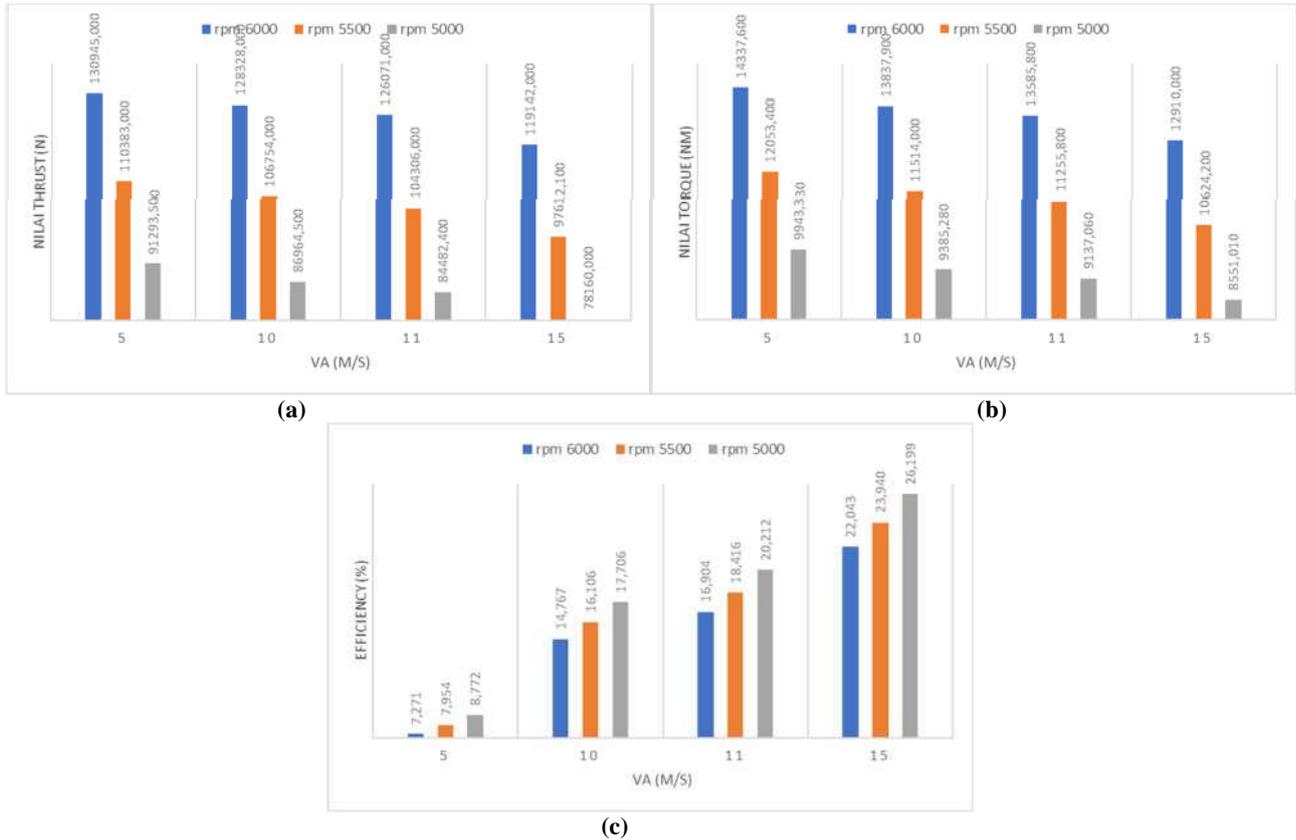
(Nm)

KQ = Koefisien torsi propeller

$\rho$  = Massa jenis fluida (1025

kg/m<sup>3</sup>) $\eta_o$  = Efficiency

propeller

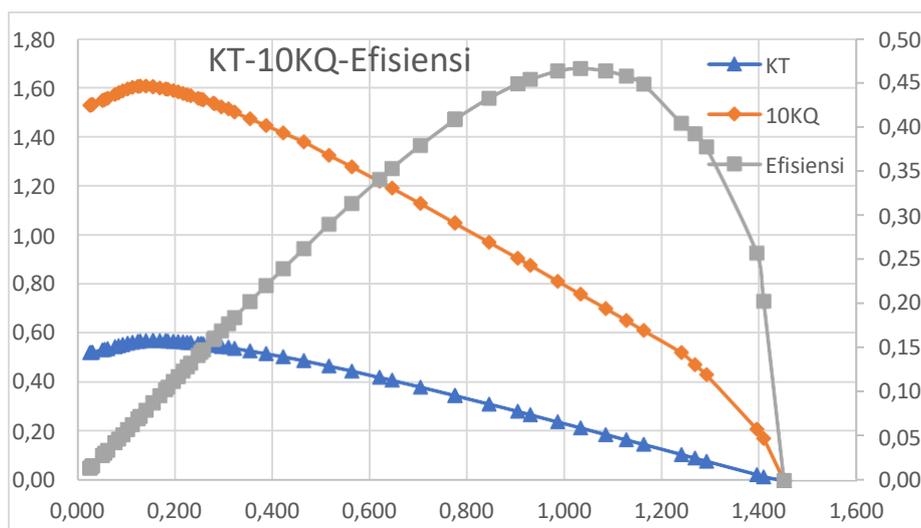


**Gambar 5.** Hasil Simulasi pada Variasi Va dan Putaran (rpm) (a) Terhadap Nilai Thrust, (b) Terhadap Nilai Torque dan (c) Terhadap Nilai Efficiency

Dari pengolahan beberapa data hasil simulasi uji performa propeller Yamaha *saltwater series II* pada variasi Va tertentu menggunakan CFD dapat disimpulkan pada Gambar 5 (a) semakin tinggi nilai rpm maka hasil *thrust* akan semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan persamaan 1, sedangkan semakin tinggi nilai Va maka nilai *thrust* yang dihasilkan semakin rendah, karena hubungan antara Va dan *thrust* berbanding terbalik. Sementara semakin tinggi nilai Va maka akan berbanding lurus dengan *advance ratio propeller* (J) yang juga semakin tinggi, hal ini sesuai dengan persamaan 3. Dari seluruh hasil simulasi yang dilakukan sampai dengan variasi Va. Nilai *thrust* tertinggi yaitu 131548 N yang berada pada nilai  $J = 0,155$ . Hasil simulasi tersebut terjadi pada variasi rpm 6000 dan Va 6 m/s. Sedangkan nilai *thrust* terendah yaitu 0 N berada pada nilai  $J = 1,450$  yang dihasilkan dari simulasi pada kondisi rpm 5000 dan dengan variasi Va sebesar 50 m/s.

Untuk Gambar 5 (b) menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai rpm maka *torque* yang dihasilkan juga semakin tinggi sesuai dengan persamaan 2. Sedangkan semakin tinggi nilai Va maka nilai *torque* akan semakin rendah, karena hubungan antara Va dan *torque* berbanding terbalik. Sementara semakin tinggi nilai Va maka *advance ratio propeller* J juga semakin tinggi karena hubungan berbanding lurus sesuai persamaan 3. Dari keseluruhan simulasi yang dilakukan untuk mencari nilai *torque* didapatkan bahwa nilai *torque* tertinggi sebesar 14337,60 Nm pada nilai  $J = 0,129$ . Nilai tersebut dihasilkan dari simulasi pada kondisi rpm 6000 dan pada variasi Va 5 m/s. Sedangkan nilai *torque* terendah yaitu 0 Nm berada pada nilai  $J = 1,450$  yang dihasilkan dari simulasi CFD pada kondisi rpm 5000 dan dengan Va 50 m/s.

Sedangkan nilai *efficiency* diperoleh dari pengolahan data hasil simulasi. Nilai *efficiency* tertinggi yaitu 46,57 % berada pada  $J = 1,033$  dari hasil simulasi pada putaran 6000 rpm dan Va 40 m/s. Sedangkan nilai *efficiency* terendah yaitu 0 % berada pada nilai  $J = 1,450$  yang dihasilkan dari simulasi CFD pada kondisi rpm 5000 dan dengan Va 50 m/s. Untuk hasil simulasi pada kondisi Va kapal yaitu 11,44 m/s nilai *efficiency* yang dihasilkan sekitar 20,21 % saat putaran terendah 5000 rpm sedangkan saat putaran dinaikkan ke putaran maksimal yaitu 6000 rpm nilai *efficiency* menjadi turun sekitar 16,90 % hal ini membuktikan bahwa putaran dan *velocity of advance* berbanding terbalik sesuai persamaan 4 dan Gambar 5 (c).



Gambar 6. Diagram KT-KQ-Efisiensi

Gambar 6 merupakan diagram KT-KQ-Efisiensi dari proses simulasi propeller Yamaha *saltwater series II* dengan variasi putaran dan kecepatan sampai nilai tertentu. Dari bentuk diagram tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai maksimum koefisien *thrust* sebesar 0,570 pada  $J = 0,155$ . Nilai maksimum koefisien *torque* sebesar 0,160 pada  $J = 0,129$ , sedangkan nilai maksimum efisiensi sebesar 46,57 pada  $J = 1,033$ . Garis KT dan KQ memiliki *trend* garis yang berbanding lurus, kedua garis tersebut tidak mengalami perpotongan. Sedangkan garis efisiensi memiliki *trend* garis naik pada  $J = 0,026$  dan mengalami *trend* garis turun pada  $J = 1,033$ .

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan bahwa 1) propeller Yamaha *saltwater series II* dapat dimodelkan dengan bantuan perangkat lunak menyerupai bentuk asli dan dibuktikan dengan hasil *error* kurang dari 5% pada validasi model terhadap nilai luasan *blade*, sudut *root*, panjang *root*, sudut *rake* dan sudut *skew*. Setelah itu simulasi dilakukan untuk menjawab tujuan dari penelitian. 2) Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa karakteristik atau performa propeller Yamaha *saltwater series II* pada kondisi *open water test* menegaskan bahwa semakin tinggi angka putaran atau rpm maka menghasilkan nilai *thrust* dan *torque* yang juga semakin tinggi. Sedangkan semakin tinggi nilai  $V_a$  maka nilai *thrust* dan *torque* yang dihasilkan akan semakin rendah. 3) Nilai *thrust* tertinggi yaitu 131548 N pada variasi rpm 6000 dan  $V_a$  6 m/s dan nilai *thrust* terendah yaitu 0 N pada kondisi rpm 5000 dan dengan variasi  $V_a$  sebesar 50 m/s, nilai *torque* tertinggi sebesar 14337,60 Nm pada kondisi rpm 6000 dan pada variasi  $V_a$  5 m/s dan dihasilkan nilai *torque* terendah yaitu 0 Nm pada kondisi rpm 5000 dan dengan  $V_a$  50 m/s, sedangkan untuk nilai *efficiency* tertinggi yaitu 46,57 % pada putaran 6000 rpm dan  $V_a$  40 m/s dan nilai *efficiency* terendah yaitu 0 % pada kondisi rpm 5000 dan dengan  $V_a$  50 m/s. 4) Untuk hasil simulasi dengan variasi putaran 6000 rpm, 5500 rpm dan 5000 rpm dengan  $V_a$  kapal tanpa variasi 11,44 m/s dihasilkan nilai tertinggi untuk *thrust* 126071 N dan *torque* 13585,80 Nm pada kondisi putaran maksimal 6000 rpm, sedangkan nilai tertinggi untuk *efficiency* sebesar 20,212 % terjadi pada kondisi putaran minimum 5000 rpm.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada pihak-pihak yang terkait dalam penelitian ini sehingga *output* penelitian ini dapat dihasilkan beberapa luaran termasuk untuk seminar Master 2023 ini.

#### 6. Daftar Pustaka

- Abidin, M. Z. A., Abidin, M. Z. A. Z., & Adji, S. W. (2012). Analisa Performance Propeller B-series dengan pendekatan structure dan unstructure meshing. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), G241–G246.
- Carlton, J. (2007). *Marine Propellers a2012nd Propulsion*. Burlington: Elsevier Ltd.
- Chapra, S. C. & Canale, R. P. (2015). *Numerical Methods for Engineers. 7th ed.* Penn Plaza, New York, NY: Mc.GrawHill Education.
- Gatete, A. N. (2018). A Review on Marine Propeller Performance of High-Speed Boat Running on an Outboard Engine. *Proceedings of the Sustainable Research and Innovation Conference*, 213-220.
- 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.
- Pramessti, L, Dimas Endro. W, R., & Baskoro Aji, B. (2022). Analisis Performa Propeller Kaplan 4-55 dengan Pendekatan Computational Fluid Dynamic (CFD). *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 6(2), 249-256.
- 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.
- Suratno, Ariana, I. A. & Cahyono, B. (2020). Optimization of Propeller Design Through Polynomial Approach to Optimize The Ship Energy Efficiency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, pp. 1-8.
- Waskito, D. H. (2020). Estimasi Performa Sistem Propulsi Pada Kapal Dengan Tipe Controllable Pitch Propeller. *Jurnal Riset dan Rekayasa Kelautan*, Vol. 1 No. 1, pp. pp 1-10.
- Wibawa, B S. A, S., & reza, A. (2013). Pemanfaatan Energi Alternatif Gas Alam Terkompresi sebagai Bahan Bakar Mesin Penggerak Kapal Nelayan Tradisional. *Jurnal Perahu*, 30-38.
- 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.
- Yamaha. (2022). Diambil kembali dari Yamaha Propeller Selector:  
<https://www.yamahapropselector.com/propSelector/web/inner.html>