

# Perhitungan nilai Maksimum Thrust, Torque, dan Efficiency Propeller Tipe B4 Series pada Kapal Tugboat dengan Modifikasi Diameter, Rake, dan Pitch menggunakan Metode Komputasi

Kelly C.P Lumbanraja, Deddy Chrismianto, Samuel  
Universitas Diponegoro  
Email: [lumbanrajakellycp@gmail.com](mailto:lumbanrajakellycp@gmail.com)

## Abstrak

Kapal tugboat digunakan untuk mendorong dan juga menarik kapal yang akan masuk atau keluar pelabuhan. Propeller merupakan mesin penggerak kapal. Propeller akan bekerja lebih optimal ketika nilai torque semakin kecil dan nilai thrust semakin besar. Penelitian pada tugas akhir ini akan melakukan modifikasi pada diameter dan pitch propeller B-Series pada kapal tugboat dengan metode komputasi sehingga diperoleh thrust tertinggi, nilai torque terendah, dan nilai efficiency yang paling tinggi. CFD adalah metode komputasi yang telah banyak digunakan untuk mensimulasikan badan kapal maupun propeller. Penyelesaian dengan CFD menggunakan persamaan Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS). Persamaan RANS terutama digunakan untuk mendiskripsikan aliran turbulen model tegangan ke- $\epsilon$ , keu, dan RANS menghasilkan korelasi yang baik. Penelitian ini menggunakan Hydrocamp Propcad untuk mendesain propeller, Rhinoceros untuk membuat model propeller menjadi solid, dan Ansys-CFX untuk mendapatkan nilai torque dan thrust. Setelah mendapatkan nilai torque, thrust, dan efficiency dari CFD dilakukan validasi dengan perhitungan matematis KT-KQ dari diagram wageningen. Dari hasil analisa CFD diperoleh nilai terendah torque pada model rake 0, pitch 1,36 dan diameter 1,2 yakni 880,15 Nm, nilai tertinggi thrust dengan rake 0, pitch 1,76 dan diameter 1,4 yakni 10717 N diperoleh nilai efficiency paling besar pada rake 5, pitch 1,56 dan diameter 1,4.

Kata Kunci : Kapal Tugboat, Propeller, Diameter, Pitch, Rake

## 1. PENDAHULUAN

Kapal tugboat (tunda) merupakan kapal yang dibangun untuk menarik dan mendorong kapal-kapal yang akan masuk dan keluar pelabuhan. Selain itu, kapal tugboat juga digunakan untuk menarik kapal tongkang, dimana kapal tugboat digunakan sebagai mesin penggerak tongkang karena tongkang tidak memiliki sistem propulsi. Propeller merupakan mesin penggerak yang digunakan untuk mendorong kapal. Prinsip kerja dari alat propulsi baling-baling adalah gaya dorong yang diberikan pada kapal dalam hakekatnya dihasilkan oleh gaya angkat atau lifting force yang bekerja pada daun baling-baling yang berputar di dalam air dengan digerakkan oleh mesin penggerak kapal[1].

Salah satu aspek yang paling penting dalam pembuatan kapal itu sendiri ialah aspek perencanaan dibidang sistem propulsi dan aspek dari sistem propulsi itu sendiri ialah perencanaan desain propeller[2].

Dalam hal perencanaan desain propeller salah satu aspek yang paling diperhatikan adalah efisiensi dari propeller itu sendiri, tentunya dalam

perancangan propeller dipilih nilai efisiensi yang maksimum tanpa terjadi kavitasi[3].

Dalam perkembangannya propeller mengalami beberapa modifikasi bentuk dengan tujuan mendapatkan efisiensi yang paling baik sebagai alat penggerak kapal, salah satu modifikasi itu yaitu skew angle dan blade are ratio (Ae/Ao)[4].

Kecepatan pada kapal tidak terlepas dari desain propeller yang baik agar mendapatkan thrust optimal yang dihasilkan gerak propeller, Seperti kapal tugboat yang bertujuan memandu untuk memberi dorongan kepada kapal lain yang ingin masuk atau menarik kapal agar mendapatkan posisi parkir yang baik [5].

Tenaga besar yang perlu dihasilkan propeller Kaplan series dengan kecepatan berlayar yang rendah akibat beban kerja yang besar akan memberi dampak penurunan nilai efisiensi dari kinerja propeller yang menyebabkan kinerja tugboat menurun dan untuk meningkatkan efisiensi, beberapa penelitian menggunakan end plate pada propeller[6].

Propeller kapal selam membutuhkan beberapa kriteria khusus yaitu propeller yang dapat

memberikan gayadorong yang besar dengan tingkat kebisingan yang rendah, maka desain *propeller* harus memiliki nilai *thrust* yang besar, nilai tekanan yang rendah dan aliran *propeller* yang halus. Sehingga dilakukan penelitian menganalisa *propeller* dengan sudut kemiringan *hub propeller* untuk mendapatkan *propeller* yang optimum[7].

Oleh karena itu, penelitian pada tugas akhir ini akan melakukan modifikasi pada diameter dan *pitch propeller B-Series* pada kapal *tugboat* dengan metode komputasi sehingga diperoleh *thrust* tertinggi, nilai *torque* terendah, dan nilai *efficiency* yang paling tinggi.

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini membutuhkan data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data utama dari kapal meliputi gambar dan ukuran utama pada kapal yaitu linesplan, *propeller* yang diperoleh data dari PT. PELINDO III Surabaya KT. Subali I. Data sekunder merupakan sumber data yang diperoleh dapat melalui media internet yaitu jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian, media buku pembelajaran, e-book media software yang digunakan untuk menambah wawasan dan ilmu, sebagai referensi dalam pengerjaannya, dan sebagai media untuk mencari solusi dari permasalahan yang akan dialami.

### 2.2. Variabel Penelitian

Kapal *tugboat* KT.Subali diPT. PELINDO III Surabaya digunakan untuk memasukkan dan mengeluarkan kapal-kapal di pelabuhan

Tabel 1. Ukuran utama Kapal *Tug Boat*

No	Ukuran utama	Dimensi
1	<i>Length of Overall</i>	27,75 m
2	<i>Length of Waterline</i>	24,30 m
3	<i>Length Between Perpendicular</i>	24, 30 m
4	<i>Breadth</i>	8,60 m
5	<i>Height</i>	3,50 m
6	<i>Draught</i>	2,70 m
7	<i>Vs</i>	10 knot
8	<i>Cb</i>	0,55

Tabel 2. Ukuran Utama *Propeller*

No	Ukuran utama	Dimensi
1	<i>Diameter</i>	1,3 m
2	<i>Pitch ratio</i>	1,2
3	<i>Pitch (m)</i>	1,56
4	<i>Blade number</i>	4
5	<i>RPM</i>	210 rpm

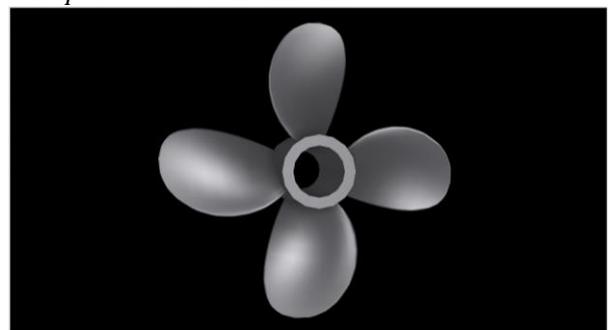
Penelitian ini melakukan variasi pada *diameter*, *rake* (0°;2°;5°), *diameter* (1,2;1,3;1,4) dan *pitch* (1,36;1,56;1,76) pada *propeller* kapal *tugboat* yang memiliki kecepatan dan kondisi yang sama.

### 2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Perencanaan Dibantu Komputer menggunakan *software Hydrocamp* untuk membantu mendesain *propeller*, *Rhinoceros* untuk membantu memodelkan *propeller*, dan *Ansys CFX* untuk menganalisa model *propeller*.

### 2.4 Pembuatan Model

Penelitian ini menggunakan *software Hydrocamp* untuk mendesain *propeller*, dan *Rhinoceros* untuk memodelkan dan menjadikan *propeller* menjadi *solid*. Setelah itu model akan diexport dalam bentuk *IGES*.



Gambar 1. Model *Propeller* Kapal *Tugboat*

### 2.5 Validasi Numerik

Dalam penelitian ini validasi nilai *torque*, *thrust* pada model awal dengan perhitungan KT-KQ-J yang terdapat pada grafik *Wageningen B-Series Propeller* dengan nilai T dan Q yang diperoleh melalui perhitungan dengan CFD.

### 2.6 Pembuatan Model Kapal *Tugboat* dengan Variasi *Rake*, *Diameter*, dan *Pitch*

Hasil perhitungan KT-KQ-J di grafik *Wageningen* pada model asli valid dengan nilai perhitungan menggunakan CFD maka dilanjutkan dengan memodelkan *propeller* dengan variasi *rake*, *diameter*, dan *pitch* sehingga memperoleh hasil yang diharapkan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

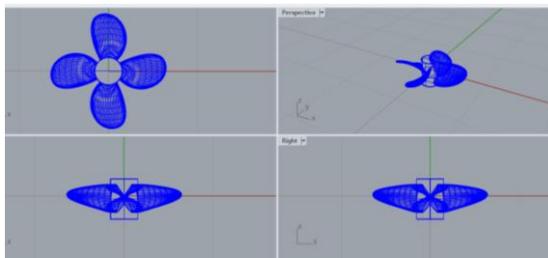
*Propeller* dari kapal *tugboat* dibuat menjadi beberapa model agar dapat dianalisa untuk mendapatkan nilai *thrust*, *torque*, dan nilai efisiensi maksimum.

Model-model *propeller* dianalisa dengan menggunakan metode CFD kemudian akan divalidasi hasil analisa CFD dengan menggunakan perhitungan matematis KT-KQ grafik Wageningen.

### 3.1. Model Propeller

Tabel 3. Ukuran Utama Propeller

No	Ukuran utama	Dimensi
1	Diameter	1,3 m
2	Pitch ratio	1,2
3	Pitch (m)	1,56
4	Blade number	4
5	RPM	210 rpm



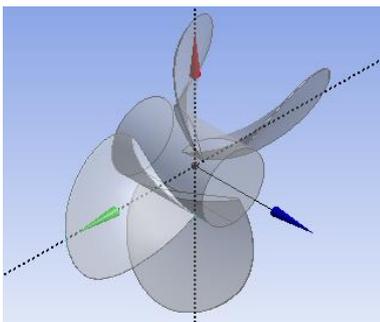
Gambar 2. Pembuatan Model Propeller

Pada gambar 2 merupakan model 3D *propeller* kapal tugboat menggunakan aplikasi Rhinoceros. Kemudian model tersebut di-export dalam bentuk IGS sehingga dapat dibuka oleh Ansys-CFX sebagai software yang digunakan dalam metode CFD.

### 3.2. Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic)

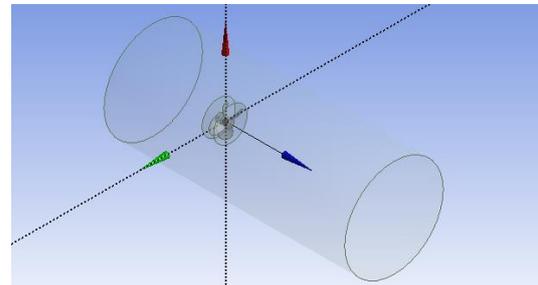
#### 3.2.1 Geometry

Tahap geometry merupakan tahap untuk menentukan model yang akan dianalisa dengan software Ansys CFX. Pada tahap *geometry*, model dari Rhinoceros dapat dilakukan pengecekan apakah model sudah solid atau belum.



Gambar 3. Model propeller pada Metode Komputasi

Langkah berikutnya adalah pembuatan *interface* pada *propeller* dengan cara mengklik *enclosure* pada menu tools.



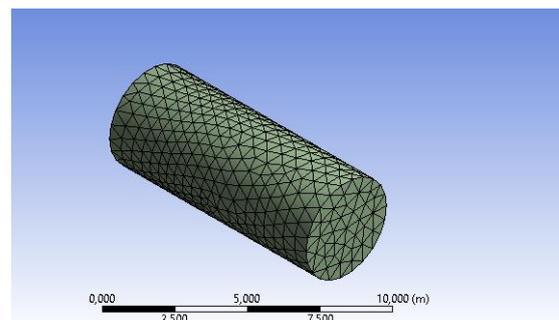
Gambar 4. Interface Pada Model Propeller

Kemudian, pembagian tugas antara *boundary* dan benda dengan menggunakan *boolean* dengan cara mengklik *create* lalu Boolean, di menu *operation* dipilih *subtract* kemudian muncul menu *tool bodies* dan target *bodies*. Pada *tool bodies* dipilih *propeller* kapal dan pada target *bodies* dipilih *interface*. Kemudian klik yes.

Selanjutnya yang terakhir pada tahap *geometry* adalah penamaan pada setiap bagian *propeller* dan *interface*. Adapun penamaannya yaitu : *propeller*, *interface*, *inlet*, *outlet*, dan *wall*. Caranya klik pada setiap *part* lalu klik kanan *mouse* pilih *named selection* kemudian isi sesuai dengan nama part *propeller*, *interface*, dan *wall*.

#### 3.2.2 Meshing

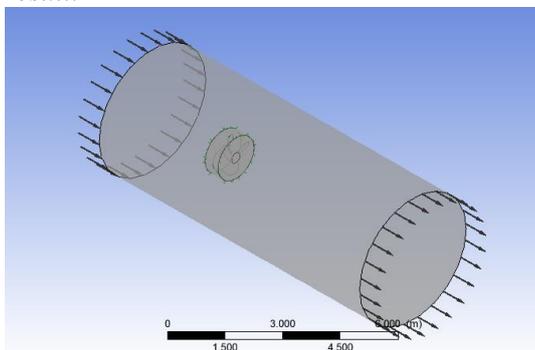
Langkah selanjutnya setelah *boundary building* atau domain fluida adalah proses *meshing* pada *propeller*. Perlu diperhatikan bahwa jumlah elemen akan terbentuk lebih banyak bila ukuran elemen tersebut semakin kecil dan waktu pada proses *running* lebih lama dan *file* yang dihasilkan lebih besar.



Gambar 5. Mesh Pada Model Propeller

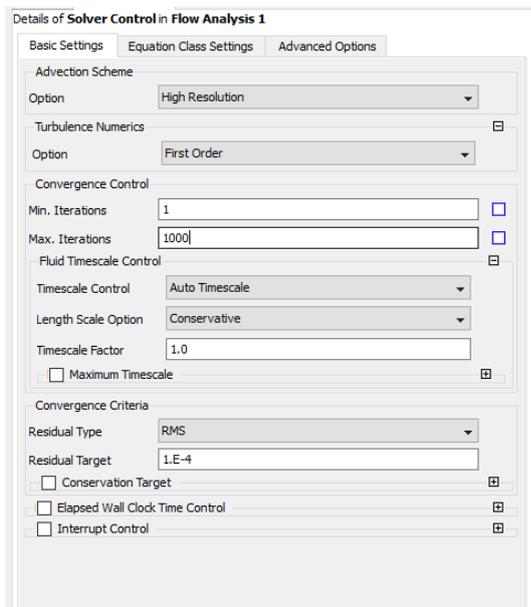
### 3.2.3 Set Up

Set up merupakan tahap untuk mengatur domain, interfaces, boundary, solution unit, dan solver control yang sangat diperlukan untuk mendapatkan grafik dan hasil di tahap solution dan result.



Gambar 6. Set Up Pada domain, interfaces, boundary, solution unit, dan solver control.

Pada solver control dipilih error 0,0001 agar nilai yang diperoleh memiliki persentase tingkat error yang sangat kecil.



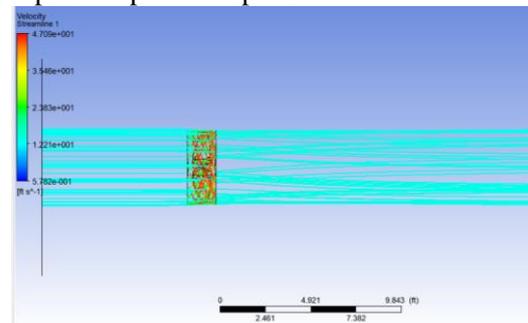
Gambar 7. Penentuan Tingkat Error Pada Solver Control

### 3.2.4 Solution

Kemudian setelah pengerjaan langkah pre-processor selesai yang dilakukan selanjutnya adalah ke tahap solution. Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan berupa iterasi dan akan diperoleh grafik.

### 3.2.5 Result

Setelah perhitungan pada tahap solution selesai maka hasil berupa thrust dan torque dapat diperoleh pada tahap result.



Gambar 8. Tahap Result

### 3.3 Hasil Analisa CFD Thrust dan Torque pada Model Propeller Asli

Hasil yang diperoleh dari perhitungan menggunakan bantuan CFD pada model asli propeller diperoleh nilai thrust 43388,1 pdl = 5998,4 N, nilai torque 45650,4 ft pdl = 1923,71 Nm, dan nilai efisiensi 0,5655.

### 3.4 Validasi

Penelitian ini melakukan perbandingan hasil yang diperoleh melalui perhitungan CFD dengan perhitungan data B-Series KT-KQ Wageningen [8] dan dikatakan valid bila memiliki error lebih 10%. Nilai force dan torque dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \tag{1}$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \tag{2}$$

$$J = \frac{Va}{n x D} \tag{3}$$

$$\eta_0 = \frac{T x Va}{2 x \pi x Q x n} \tag{4}$$

$$w = 0,5 x Cb - 0,05 \tag{5}$$

$$Va = (1-w) Vs \tag{6}$$

Keterangan :

- KT = Koefisien gaya dorong baling-baling
- KQ = Koefisien torsi baling-baling
- J = Koefisien advanced baling-baling
- Va = kecepatan advanced, ft/s
- D = diameter propeller, ft
- N = putaran propeller, rev/s
- T = thrust propeller, lbf

Q = torque propeller, lbf ft  
 $\rho$  = massa jenis fluida (fluid density), 1,9905 s/ft<sup>3</sup>

Dimensi Propeller :

- D = 1,3 m = 4,27 ft
- P = 1,2
- Vs = 10 knot = 16,88 ft/s = 3,986784 m/s
- N = 210 rpm = 3,5 rps
- $\rho$  = 1,99 s/ft<sup>3</sup>
- BAR = 0,6
- Type = B-Series

❖ Perhitungan Wake Friction (w) and Velocity advance (Va)

$$w = 0,5 \text{ (CB)} - 0,05 \quad Va = (1-w) Vs$$

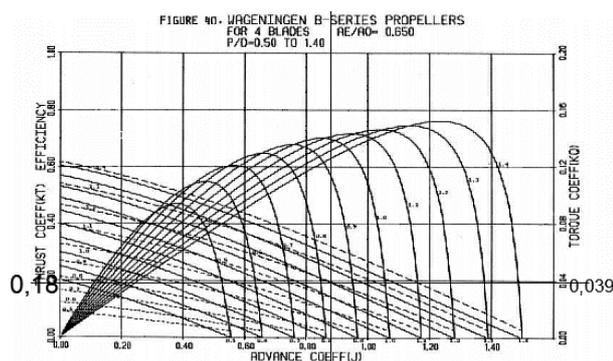
$$w = 0,5 \text{ (0,55)} - 0,05 \quad Va = (1-0,225) \times 16,88$$

$$w = 0,225 \quad Va = 13,08 \text{ ft/s}$$

❖ Perhitungan thrust, torque dan efficiency propeller

$$J = \frac{Va}{n \times D} = \frac{13,08}{3,5 \times 4,27} = 0,88$$

Dari nilai J ( koefisien advanced) diperoleh nilai KT-KQ dari grafik wageningen [9]



Gambar 9. Grafik Wageningen

Dari grafik diperoleh :

$$KT = 0,18$$

$$KQ = 0,039$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

$$T = K_T \rho n^2 D^4$$

$$T = 0,18 \times 1,99 \text{ (s/ft}^3) \times 3,5^2 \text{ (rps)} \times 4,27^4 \text{ (ft)}$$

$$T = 6488,73 \text{ N}$$

$$Q = K_Q \rho n^2 D^5$$

$$Q = 0,039 \times 1,99 \text{ (s/ft}^3) \times 3,5^2 \text{ (rps)} \times 4,27^5 \text{ (ft)}$$

$$Q = 1835,41 \text{ Nm}$$

$$\eta_0 = \frac{T \times Va}{2 \times \pi \times Q \times n}$$

$$\eta_0 = \frac{6488,73 \text{ N} \times 3,986784 \text{ ft/s}}{2 \times 3,14 \times 1835,41 \times 3,5}$$

$$\eta_0 = 0,64$$

Tabel 4. Perbandingan nilai thrust yang diperoleh dengan CFD dan perhitungan data B4-Series

Variabel	CFD	Perhitungan Data B-Series	Error
Thrust	5998,4 N	6488,73 N	7,556 %
Torque	1923,71 Nm	1835,41 Nm	4,8113 %
Efficiency	0,5655	0,64	10%

Tabel 5. Hasil Perhitungan CFD dengan Variasi Rake dan Diameter pada Propeller

No	Rake	P	D	Q(Nm)	T(N)	$\eta_0$
1	0°	1,56	1,2	1445,3	4745,1	0,59
2	2°	1,56	1,2	1427,2	4998,9	0,63
3	5°	1,56	1,2	1437,6	4963,3	0,63
4	0°	1,56	1,3	1923,7	5998,4	0,56
5	2°	1,56	1,3	1907	6740,3	0,64
6	5°	1,56	1,3	1898,9	6615,4	0,63
7	0°	1,56	1,4	2473,3	7887,4	0,57
8	2°	1,56	1,4	2430,2	7863,7	0,57
9	5°	1,56	1,4	2429	8603,1	0,64

Tabel 6. Hasil Perhitungan CFD dengan Variasi Pitch pada Propeller

No	Rake	P	D	Q(Nm)	T(N)	$\eta_0$
1	0°	1,36	1,3	1204,9	3570,7	0,54
2	0°	1,56	1,3	1923,7	5998,4	0,56
3	0°	1,76	1,3	2708	7911,1	0,53

Tabel 7. Hasil Perhitungan CFD dengan Variasi Diameter pada Propeller

No	Rake	P	D	Q(Nm)	T(N)	$\eta_0$
1	0°	1,56	1,2	1445,3	4745,1	0,59
2	0°	1,56	1,3	1923,7	5998,4	0,56
3	0°	1,56	1,4	2473,3	7887,4	0,57

Pada penelitian ini, Variasi yang digunakan pada propeller adalah variasi pada diameter, pitch, dan rake. Variasi ini diambil bertujuan untuk memperoleh nilai thrust, torque, dan efisiensi yang lebih optimal karena penelitian sebelumnya belum menggunakan variasi sebagai berikut.

Penelitian ini dilakukan dengan keadaan open water test. Open water test merupakan uji coba untuk mendapatkan koefisien-koefisien yang berbeda untuk mencari efficiency propeller dalam kondisi terbuka. Adapun kondisi terbuka

maksudnya adalah lambung dan yang terkena air sekitarnya tidak menghalangi *propeller*[10].

Pada tabel 4-6 menunjukkan perbedaan nilai pada model asli yang diperoleh menggunakan CFD dan perhitungan matematis tetapi masih dapat dikatakan valid karena tidak melewati batas nilai *error* sebesar 10% yang sebelumnya ditetapkan.

Pada table 7 diperoleh hasil dari setiap variasi *propeller*. Semakin besar nilai *pitch* dan diameter sebuah *propeller* maka akan semakin besar juga nilai *thrust* dan *torque* nya. Hal itu dapat terjadi karena dilihat dari perhitungan matematis  $KT$   $KQ$ , nilai  $T = K_T \rho n^2 D^4$ . Bahwa nilai  $T$  berbanding lurus dengan nilai Diameter dan ketika mencari nilai  $KT$  dan  $KQ$  dibutuhkan nilai koefisien *advanced propeller* ( $J$ ) dan nilai *pitch ratio* dimana *pitch ratio* adalah perbandingan nilai *pitch* dan diameter. Maka semakin besar *pitch* semakin besar pula nilai  $KT$ - $KQ$  nya. Hal ini dapat dilihat dari hasil yang diperoleh dari CFD.

## 4 KESIMPULAN

### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa diperoleh juga kesimpulan sebagai berikut

1. Dari hasil analisa diperoleh bahwa nilai diameter dan *pitch* sebuah *propeller* sangat mempengaruhi nilai *thrust* dan *torque*. Semakin besar diameter dan *pitch* maka nilai *thrust* dan *torque* akan semakin besar. Hal tersebut diperoleh karena melalui rumus perhitungan data *B-Series* pada grafik wageningen  $T = K_T \rho n^2 D^4$  dan  $Q = K_Q \rho n^2 D^5$ . Diperoleh nilai *thrust* terbesar yakni 10717 N pada model *rake*  $0^\circ$ , *pitch* 1,76 dan diameter 1,4 dan nilai *torque* terkecil pada model *rake*  $0^\circ$ , *pitch* 1,36 dan diameter 1,3.
2. Nilai *rake* tidak terlalu mempunyai pengaruh terhadap nilai *thrust* dan *torque propeller* karena nilai yang diperoleh dari hasil analisa tidak terus menerus mengalami kenaikan maupun penurunan pada variasi *rake*  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $5^\circ$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak atas doa, bantuan, dan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manik, Parlindungan. 2018. Propulsi Kapal. Semarang.
- [2] Wibowo, G.P., Chrismianto, D., & A. B. A.

(2017). Analisa Nilai Thrust Optimum Propeller B4-70, Ka4-70 dan Au4-59 pada Kapal Tug Boat Pelabuhan Paket-II 2x1850 HP dengan Variasi Sudut Rake Menggunakan CFD, J.Tek. Perkapalan, vol. 5, no. 1, hal. 27–37.

- [3] Santoso, D. H., A. B. A., & Rindo, G. (2018). Analisa *Performance Propeller Tipe B-5 Series* Pada Kapal Rumah Sakit Tipe Katamaran Dengan Variasi Nilai *Blade Area Ratio (AE/AO)* dan *Pitch Ratio (P/D)* Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD), J. Tek. Perkapalan, vol. 6, no. 1, hal. 101–110.
- [4] Budi, P. B. S., Chrismianto, D., & Rindo, G. (2016). Analisa *Performance Propeller Tipe B-Series* pada Kapal Selam 150 M dengan Variasi *Skew Angle* dan *Blade Area Ratio (AE/AO)* menggunakan Metode CFD, J. Tek. Perkapalan, vol. 4, no. 4, hal. 725-737.
- [5] 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, J. Tek. Perkapalan, vol. 3, no. 4, hal. 394–404.
- [6] Andilolo, Y. R., Manik, P., & Iqbal, M. (2017). Studi Kasus Kinerja *Propeller Kaplan Series* Akibat Pengurangan Diameter dan Penambahan *End Plate* dengan Metode CFD, J. Tek. Perkapalan, vol. 5, no. 1, hal. 205–213.
- [7] Darmawan, D. B., Chrismianto, D., & Iqbal, M. (2016). Analisa Pengaruh Sudut Kemiringan *Hub Propeller Tipe B-Series* pada Kapal Selam Tipe Menengah untuk Mengoptimalkan Kinerja Kapal Selam Dengan Metode Cfd, J. Tek. Perkapalan, vol. 4, no. 2, hal. 352–361.
- [8] Molland, Anthony F. 2011. *Ship resistance and propulsion: Practical estimation of ship propulsive power*, vol. 9780521760. Cambridge : Cambridge University.
- [9] Bernitsas, M. M., D. Ray, & P. Kinley. 1981. *Kt, Kq and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers*. Ann Arbor : departement of naval architecture and marine engineering college of engineering The University Of Michingan.
- [10] Carlton, J. S. 2010. *Marine Propellers and Propulsion*. London : University London.