

Perhitungan Nilai Maksimum *Thrust*, *Torque*, dan *Efficiency Propeller* Tipe B-4 Series pada Kapal *Tugboat* dengan Modifikasi Diameter, *Rake*, dan *Pitch* menggunakan Metode Komputasi

Kelly Cristin Prananda Lumbanraja¹, Deddy Chrismianto², Samuel³

Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Email: kcplumbanraja@gmail.com¹, deddychrismianto@lecturer.undip.ac.id²,
samuelaritonang@lecturer.undip.ac.id³

Received 01 Januari 2021 | Revised 09 Maret 2021 | Accepted 15 Maret 2021

ABSTRAK

Kapal tugboat digunakan untuk membantu kapal yang akan masuk atau keluar pelabuhan. Untuk mendorong dan menarik kapal maka diperlukan propeller sebagai mesin penggerak kapal. Kinerja propeller pada kapal tugboat sangat vital dalam menunjang fungsi tugboat tersebut. Pada penelitian ini akan melakukan modifikasi pada rake, diameter, dan pitch propeller B-Series pada kapal tugboat dengan metode komputasi sehingga diperoleh nilai efficiency yang paling baik. Simulasi pada penelitian ini akan menggunakan persamaan Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS) dan mendiskripsikan aliran turbulen dengan menggunakan model $k-\epsilon$ dan $k-\omega$. Hasil nilai torque, thrust, dan efficiency yang sudah disimulasikan akan di verifikasi dengan diagram Wageningen. Wageningen adalah karakteristik propeller B-series yang sudah dipublikasikan dari hasil eksperimen. Dari hasil simulasi CFD diperoleh kesimpulan torque paling minimum terletak pada modifikasi dengan rake 0° , pitch 1,36, dan diameter 1,3 pada rpm 180 sebesar 545,68 Nm. Modifikasi model propeller pada 230 rpm menggunakan diameter 1,4 m, rake 5° dan pitch 1,56 merupakan modifikasi yang direkomendasikan untuk memperoleh nilai thrust maksimum sebesar 12076 N, torque 3252,5 Nm dan mendapatkan nilai efisiensi yang paling optimum sebesar 0,7443.

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

ABSTRACT

Tugboat is used to pull or push ships which will enter or leave the harbor. To push and pull the ship, a propeller is needed as the ship propulsion. The performance of the propeller on the tugboat is vital for supporting the function of the tugboat. This research will make modifications to the rake, diameter, and pitch of the B-Series propeller on a tugboat using computational methods in order to achieve the best efficiency values. This simulation on this research will make use of Reynold-Averaged Navier Stokes (RANS) equation and describe the turbulent flow using the $k-\epsilon$ and $k-\omega$. The results of the value torque, thrust, and efficiency that have been simulated will be verified with Wageningen diagram. Wageningen is the characteristics of the B-series propeller that have been published from the experimental results. From the CFD simulation result, it is concluded that the minimum torque is showed in the modification with a rake of 0° , a pitch of 1.36 and a diameter of 1.3 m at 180 rpm which is 545,68 Nm. Modification of the propeller model 230 rpm using a diameter of 1.4 m, 5° rake and a pitch of 1.56 is the recommended modification to obtain a maximum thrust value of 12076 N, torque of 3252.5 Nm and getting the most optimum efficiency value of 0.7443.

Keywords: 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. Kapal *tugboat* juga berperan untuk menarik kapal 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 pada kapal yang berputar di dalam air dengan digerakkan oleh mesin sehingga mendapatkan gaya angkat atau *lifting force* yang bekerja pada daun baling-baling [1]. Salah satu aspek yang paling penting dalam pembuatan kapal itu sendiri ialah aspek perencanaan mesin kapal dan perencanaan desain *propeller* [2]. Hal yang sangat penting dalam perencanaan desain *propeller* adalah nilai efisiensi dari *propeller*. Tentu dalam perancangan *propeller* dipilih nilai efisiensi yang maksimum tanpa terjadinya kavitasi [3]. Dalam perkembangannya *propeller* mengalami modifikasi bentuk dengan tujuan mendapatkan efisiensi yang paling baik sebagai alat penggerak kapal, salah satu modifikasi itu yaitu *skew angle* dan *blade area ratio* (A_e/A_o) [4]. Kecepatan pada kapal tidak terlepas dari desain *propeller* yang baik agar mendapatkan *thrust* optimal yang dihasilkan gerak *propeller* [5]. Tenaga besar yang perlu dihasilkan *propeller* dengan kecepatan berlayar yang rendah akibat beban kerja yang besar akan memberi dampak penurunan nilai efisiensi dari kinerja *propeller* yang menyebabkan kinerja kapal menurun. Untuk meningkatkan efisiensi, beberapa penelitian menggunakan *end plate* pada *propeller* [6]. Beberapa kriteria khusus pada *propeller* dapat memberikan gaya dorong yang besar dengan tingkat kebisingan yang rendah, dengan alasan tersebut desain *propeller* harus memiliki nilai *thrust* yang besar. Agar mendapatkan nilai tekanan yang rendah dan aliran *propeller* yang halus dilakukan penelitian tentang sudut kemiringan *hub propeller* untuk mendapatkan performance yang baik [7]. Terkait dengan permasalahan diatas, penelitian ini akan melakukan modifikasi 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. METODOLOGI

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 di PT. PELINDO III Surabaya digunakan untuk memasukkan dan mengeluarkan kapal-kapal di pelabuhan. Pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan ukuran utama kapal dan ukuran *propeller* sebagai objek pada penelitian ini.

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	Diameter	1,3 m
2	Pitch ratio	1,2
3	Pitch (m)	1,56
4	Blade number	4
5	RPM	210 rpm

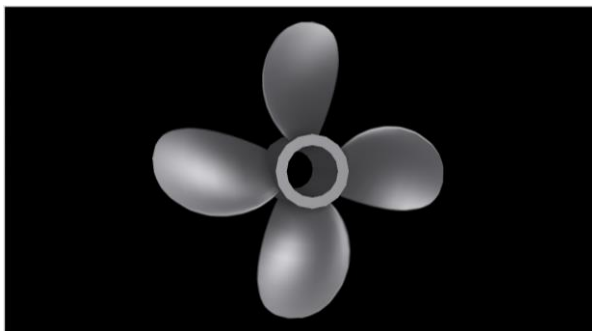
Penelitian ini melakukan variasi pada diameter, rake (0° ; 2° ; 5°), diameter (1,2;1,3;1,4) dan pitch (1,36;1,56;1,76) pada propeller kapal tugboat yang memiliki kecepatan dan kondisi yang sama.

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 CFD 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.

Tabel 3. Variasi Model Propeller

No	Rake	Pitch	Diameter
1	0°	1,36	1,2 m
2	2°	1,56	1,3 m
3	5°	1,76	1,4 m

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.

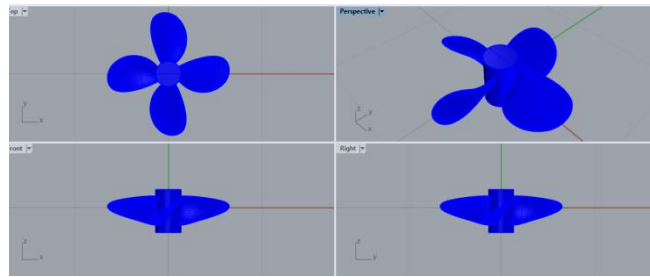
Tabel 4. Variasi Model *Propeller*

No	<i>Rake</i>	<i>Pitch</i>	Diameter
1	0°	1,36	1,2 m
2	2°	1,56	1,3 m
3	5°	1,76	1,4 m

3.1 Model *Propeller*

Tabel 5. 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



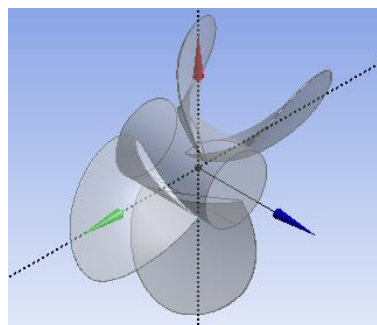
Gambar 2. Pembuatan Model *Propeller*

Tabel 5 merupakan Ukuran utama *propeller* kapal yang digunakan untuk pembuatan *propeller* melalui *software hydrocamp*. Pada Gambar 2 merupakan model 3D *propeller* kapal *tugboat* menggunakan aplikasi *Rhinoceros*. Kemudian model tersebut di-*export* dalam bentuk IGS sehingga dapat dibuka oleh *software* yang digunakan dalam metode CFD.

3.2 Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

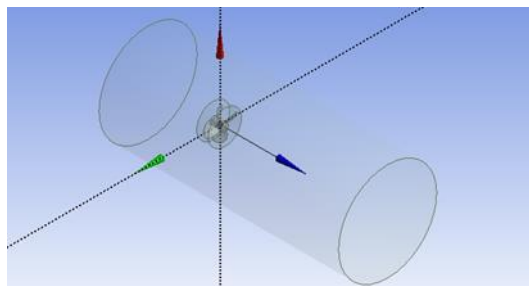
3.2.1 *Geometry*

Tahap *geometry* merupakan tahap untuk menentukan model yang akan dianalisa dengan *software* CFD. 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*.

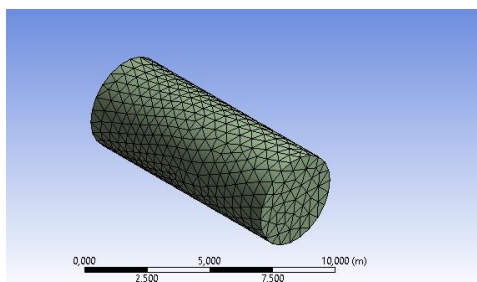


Gambar 4. Interface pada Model Propeller

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*.

Tabel 6. Set Up

Domain - Default Domain	
Type	Fluid
Location	B140
Materials	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
Settings	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Morphology	Rotating
Angular Velocity	-1.800e+02 [rev min ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Global X
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	None
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

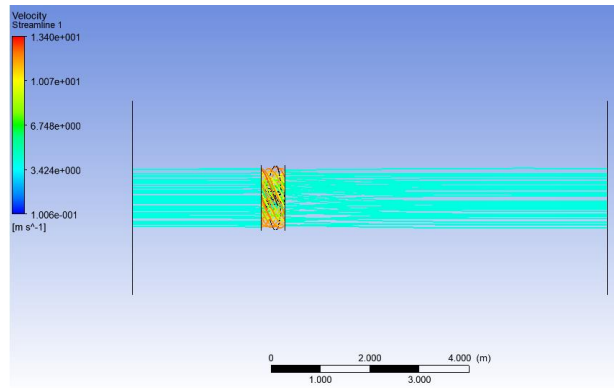
Pada *solver control* dipilih *eror* 0,0001 agar nilai yang diperoleh memiliki persentase tingkat *eror* yang sangat kecil.

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 6. 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 rumus data B-Series KT-KQ Wageningen [8], yakni sebagai berikut :

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (1)$$

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

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

$$\eta_0 = \frac{T x V_a}{2 x \pi x Q x n} \quad (4)$$

$$w = 0,5 x C_b - 0,05 \quad (5)$$

$$V_a = (1-w) V_s \quad (6)$$

Perhitungan Nilai Maksimum Thrust, Torque, dan Efficiency Propeller Tipe B-4 Series pada Kapal Tugboat dengan Modifikasi Diameter, Rake, dan Pitch menggunakan Metode Komputasi

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
- ρ = massa jenis fluida (*fluid density*), 1,9905 s/ft³

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
- ρ = 1,99 s/ft³
- BAR = 0,6
- Type = B-Series

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

$$w = 0,5 (CB) - 0,05 \qquad Va = (1-w) Vs$$

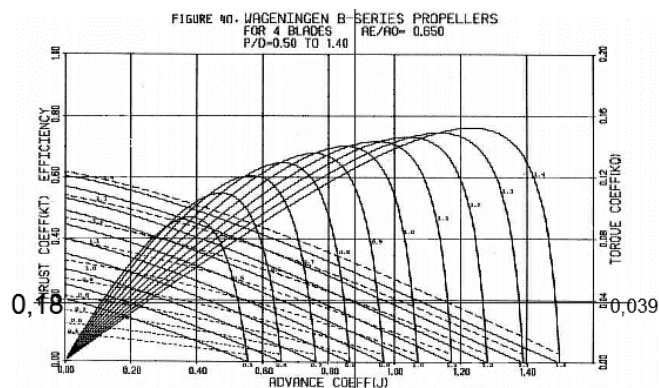
$$w = 0,5 (0,55) - 0,05 \qquad Va = (1-0,225) \times 16,88$$

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

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* [8]



Gambar 7. Grafik *Wageningen* [8]

Dari grafik diperoleh :

$$KT = 0,18$$

$$KQ = 0,039$$

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

$$T = K_T \rho n^2 D^4 = 0,18 \times 1,99 (s/ft^3) \times 3,5^2 (rps) \times 4,27^4 (ft) = 6488,73 \text{ N}$$

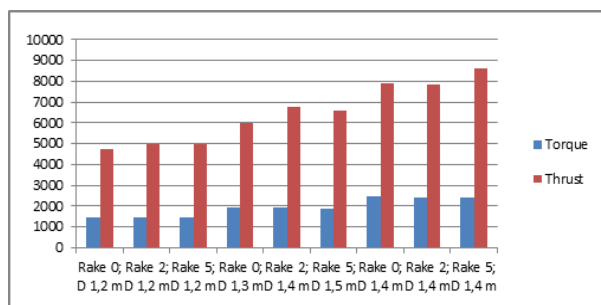
$$Q = K_Q \rho n^2 D^5 = 0,039 \times 1,99 \text{ (s/ft}^3) \times 3,5^2 \text{ (rps)} \times 4,27^5 \text{ (ft)} = 1835,41 \text{ Nm}$$

$$\eta_0 = \frac{T \times V a}{2 \pi \rho Q \omega n} = \frac{6488,73 \text{ N} \times 3,986784 \text{ ft/s}}{2 \times 3,14 \times 1835,41 \times 3,5} = 0,64$$

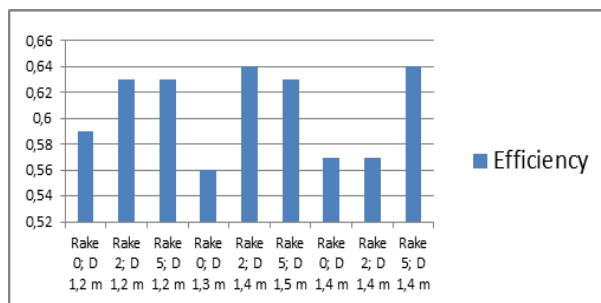
Tabel 6. Perbandingan nilai *thrust* yang diperoleh dengan CFD dan perhitungan data B4-Series

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

Dalam perhitungan validasi menggunakan diagram perhitungan *thrust* (*force*) dan *torque* pada *propeller* dengan metode perhitungan matematis sesuai dengan rumus pada diagram KT-KQ-J. Secara umum karakteristik dari baling-baling kapal pada kondisi *open water test* adalah seperti yang dipresentasikan pada diagram KT-KQ-J ditunjukkan pada Tabel 6.



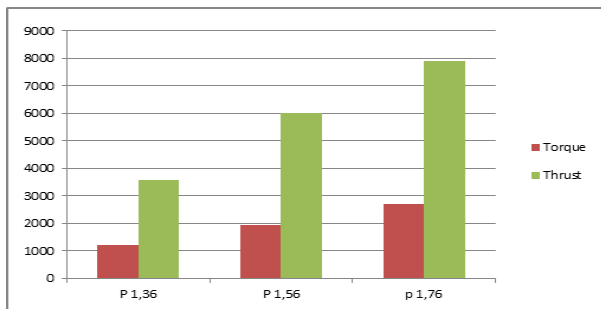
Gambar 8. Hasil Perhitungan *Thrust* dan *Torque* dengan Variasi *Rake* dan Diameter pada *Propeller* pada RPM 210



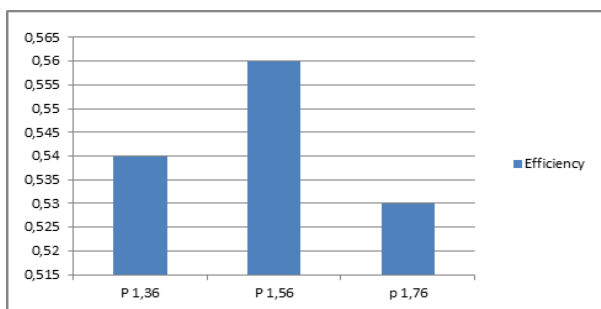
Gambar 9. Hasil Perhitungan *Efisiensi* dengan Variasi *Rake* dan Diameter pada *Propeller* pada RPM 210

Gambar 8 dan 9 menunjukkan hasil dari modifikasi *rake* dan modifikasi diameter. Bila ditinjau dari variasi *rake* pada masing-masing diameter, dapat diberikan kesimpulan bahwa pada kasus ini yaitu *rake* 0°, 2°, dan 5° pada diameter yang sama tidak terlalu memberikan pengaruh pada kenaikan maupun penurunan dari *thrust* dan *torque*. Ditinjau dari variasi diameter, dengan *rake* yang sama nilai *thrust* dan *torque* akan mengalami kenaikan sesuai dengan rumus perhitungan dari data Wageningen. Pada kecepatan 210 rpm diperoleh *thrust* terbesar yakni 8603,1 N dan nilai efisiensi 0,64.

Perhitungan Nilai Maksimum Thrust, Torque, dan Efficiency Propeller Tipe B-4 Series pada Kapal Tugboat dengan Modifikasi Diameter, Rake, dan Pitch menggunakan Metode Komputasi

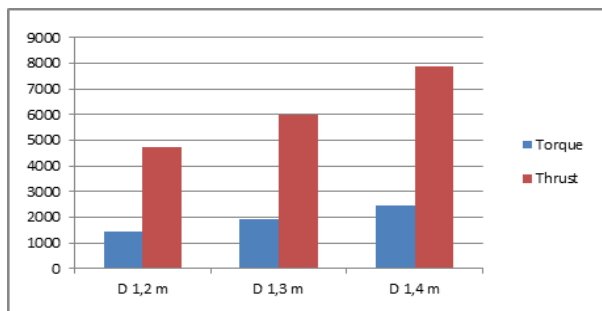


Gambar 10. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Pitch pada Propeller pada RPM 210

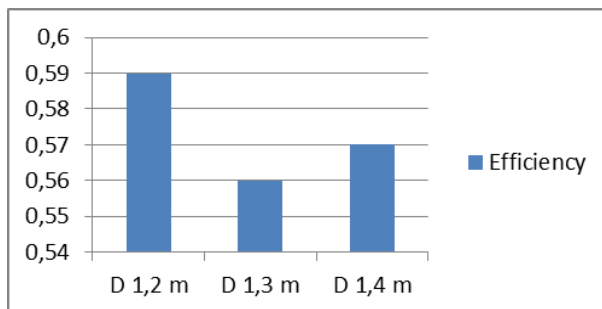


Gambar 11. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Pitch pada Propeller pada RPM 210

Gambar 10 dan 11 menunjukkan hasil dari modifikasi pitch. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar pitch *propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan grafik Wageningen diatas semakin besar *pitch* maka nilai *KT-KQ* akan semakin besar pula dari hal itu maka *thrust* dan *torque* juga akan semakin besar. Sehingga diperoleh nilai *thrust* dan *torque* terbesar pada *pitch* 1,76 yakni 7911,1 N.

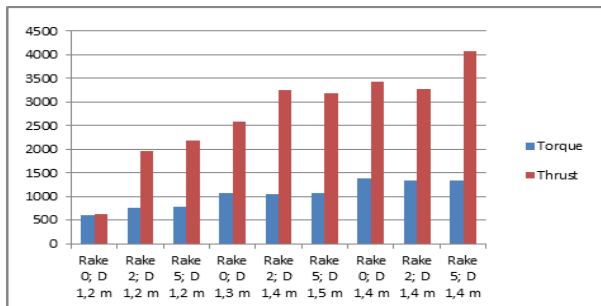


Gambar 12. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Diameter pada Propeller pada RPM 210

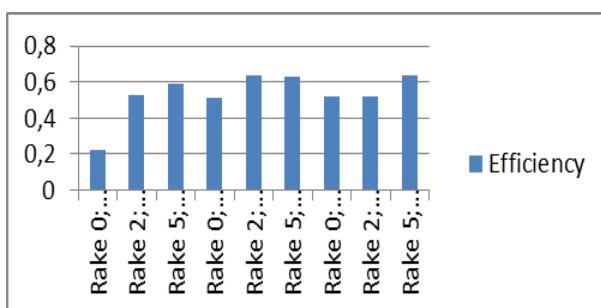


Gambar 13. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Diameter pada Propeller pada RPM 210

Gambar 12 dan 13 menunjukkan hasil dari modifikasi diameter. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar diameter *propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan rumus perhitungan data grafik Wageningen yaitu $T = KT \rho n^2 D^4$. Sehingga diperoleh nilai *thrust* terbesar melalui perhitungan CFD pada diameter 1,4 m yakni 7887,4 N.

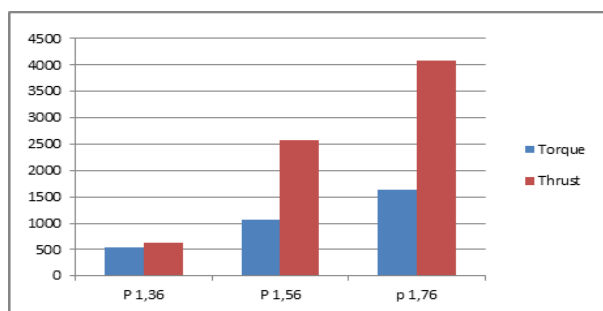


Gambar 14. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Rake dan Diameter pada Propeller pada RPM 180

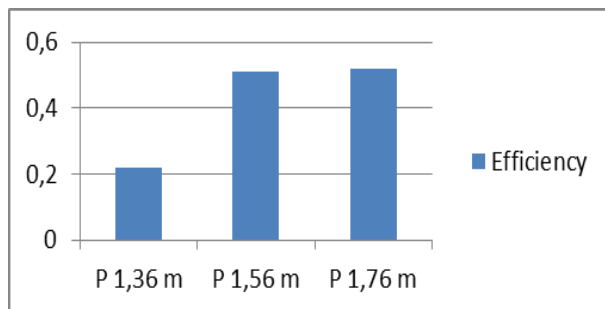


Gambar 15. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Rake dan Diameter pada Propeller pada RPM 180

Gambar 14 dan 15 menunjukkan hasil dari modifikasi *rake* dan modifikasi diameter. Bila ditinjau dari variasi *rake* pada masing-masing diameter, dapat diberikan kesimpulan bahwa pada kasus ini yaitu *rake* 0°, 2°, dan 5° pada diameter yang sama tidak terlalu memberikan pengaruh pada kenaikan maupun penurunan dari *thrust* dan *torque*. Ditinjau dari variasi diameter, dengan *rake* yang sama nilai *thrust* dan *torque* akan mengalami kenaikan sesuai dengan rumus perhitungan dari data Wageningen. Pada kecepatan 180 rpm diperoleh *thrust* terbesar yakni 4064,578 N dan nilai efisiensi 0,64. Nilai *thrust* pada rpm 180 lebih rendah dibandingkan nilai *thrust* 210 rpm yakni 8603,1 N dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni $T = KT \rho n^2 D^4$.

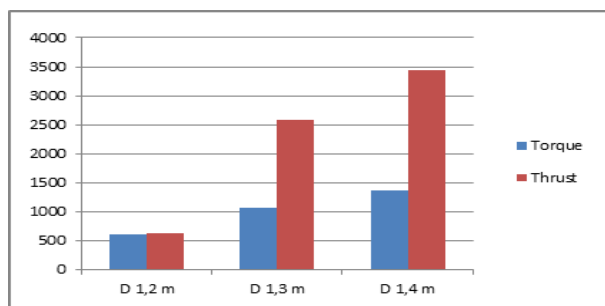


Gambar 16. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Pitch pada Propeller pada RPM 180

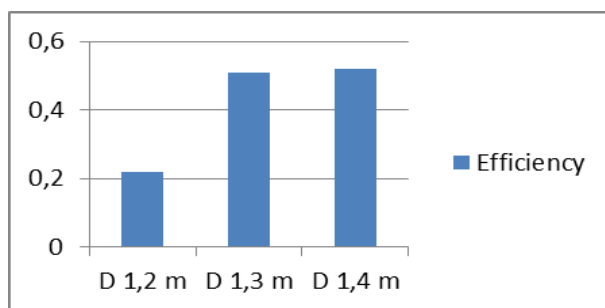


Gambar 17. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Pitch pada Propeller pada RPM 180

Gambar 16 dan 17 menunjukkan hasil dari modifikasi *pitch*. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar *pitch propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan grafik Wageningen diatas semakin besar *pitch* maka nilai KT-KQ akan semakin besar pula dari hal itu maka *thrust* dan *torque* juga akan semakin besar. Sehingga diperoleh nilai *thrust* dan *torque* terbesar pada *pitch* 1,76 yakni 4085,43 N. Nilai *thrust* pada rpm 180 lebih rendah dibandingkan nilai *thrust* 210 rpm pada variasi *pitch* yakni 7911,1 N dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni $T = KT \rho n^2 D^4$.

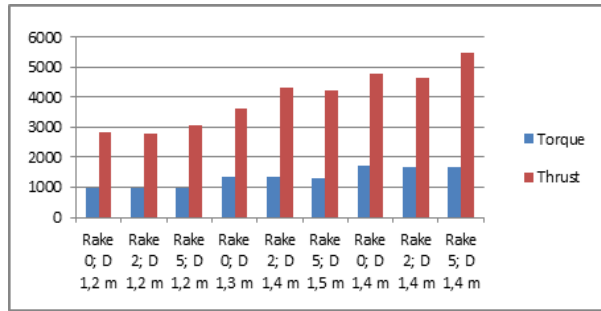


Gambar 18. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Diameter pada Propeller pada RPM 180

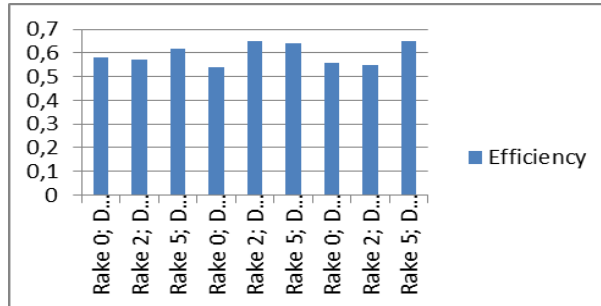


Gambar 19. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Diameter pada Propeller pada RPM 180

Gambar 18 dan 19 menunjukkan hasil dari modifikasi diameter. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar diameter *propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan rumus perhitungan data grafik Wageningen yaitu $T = KT \rho n^2 D^4$. Sehingga diperoleh nilai *thrust* terbesar melalui perhitungan CFD pada diameter 1,4 m yakni 3435,65 N. Nilai *thrust* pada rpm 180 lebih rendah dibandingkan nilai *thrust* 210 rpm yakni 7887,4 N pada variasi diameter dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni $T = KT \rho n^2 D^4$.



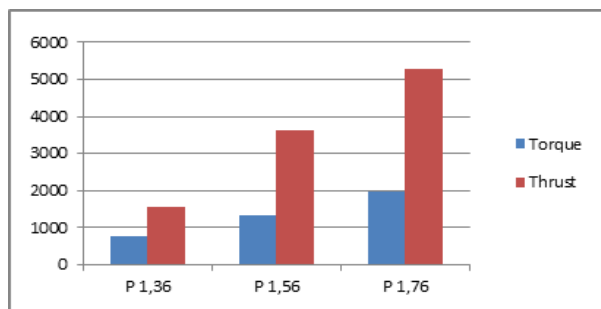
Gambar 20. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Rake dan Diameter pada Propeller pada RPM 190



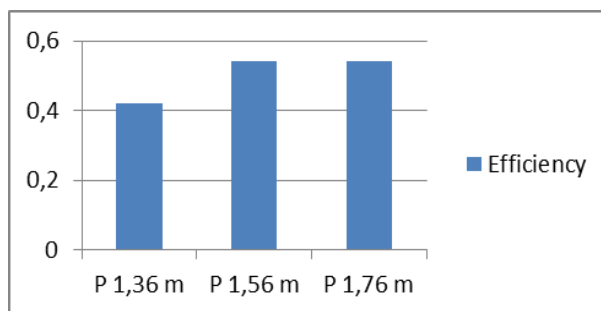
Gambar 21. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Rake dan Diameter pada Propeller pada RPM 190

Gambar 20 dan 21 menunjukkan hasil dari modifikasi *pitch*. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar *pitch propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan grafik Wageningen diatas semakin besar *pitch* maka nilai $KT-KQ$ akan semakin besar pula dari hal itu maka *thrust* dan *torque* juga akan semakin besar. Sehingga diperoleh nilai *thrust* dan *torque* terbesar pada *pitch* 1,76 yakni 5283,058 N. Nilai *thrust* pada rpm 190 lebih tinggi dibandingkan nilai *thrust* 180 rpm pada variasi *pitch* yakni 4085,43 N dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni

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

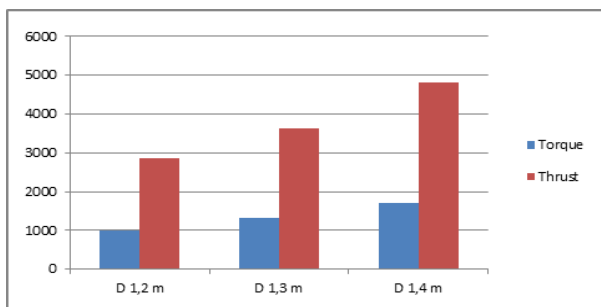


Gambar 22. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Pitch pada Propeller pada RPM 190

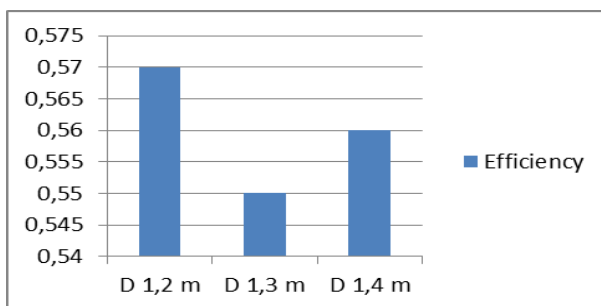


Gambar 23. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Pitch pada Propeller pada RPM 190

Gambar 22 dan 23 menunjukkan hasil dari modifikasi *pitch*. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar *pitch propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan grafik Wageningen diatas semakin besar *pitch* maka nilai KT-KQ akan semakin besar pula dari hal itu maka *thrust* dan *torque* juga akan semakin besar. Sehingga diperoleh nilai *thrust* dan *torque* terbesar pada *pitch* 1,76 yakni 5283,058 N. Nilai *thrust* pada rpm 190 lebih tinggi dibandingkan nilai *thrust* 180 rpm pada variasi *pitch* yakni 4085,43 N dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni $T = KT \rho n^2 D^4$.

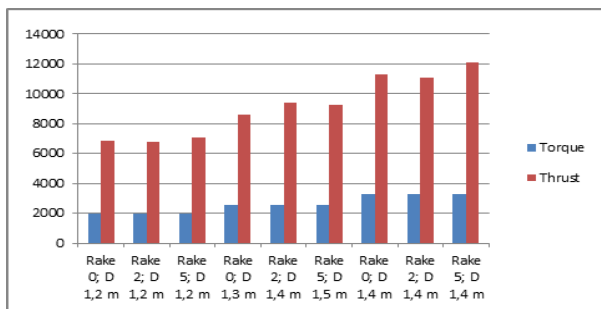


Gambar 24. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Diameter pada Propeller pada RPM 190

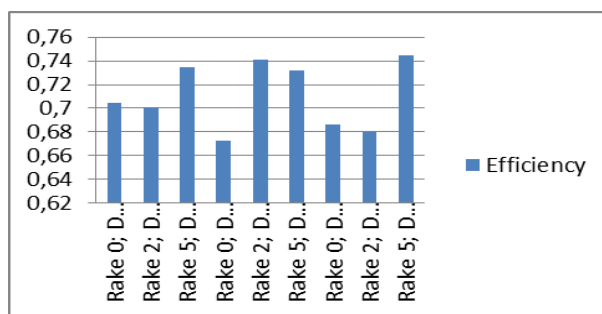


Gambar 25. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Diameter pada Propeller pada RPM 190

Gambar 24 dan 25 menunjukkan hasil dari modifikasi diameter. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar diameter *propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan rumus perhitungan data grafik Wageningen yaitu $T = KT \rho n^2 D^4$. Sehingga diperoleh nilai *thrust* terbesar melalui perhitungan CFD pada diameter 1,4 m yakni 4806,289 N. Nilai *thrust* pada rpm 190 lebih tinggi dibandingkan nilai *thrust* 180 rpm pada variasi diameter *propeller* yakni 3425,65 N pada variasi diameter dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni $T = KT \rho n^2 D^4$.

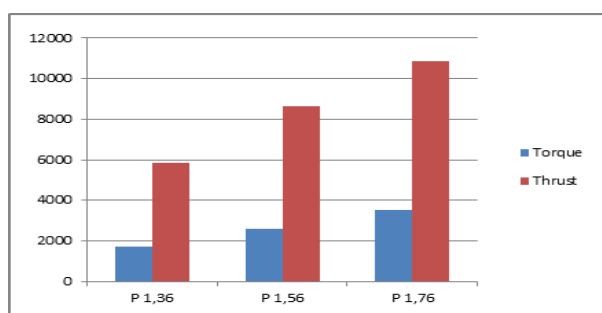


Gambar 26. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Rake dan Diameter pada Propeller pada RPM 230

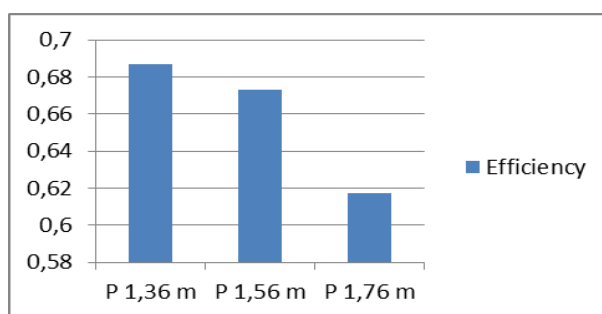


Gambar 27. Hasil Perhitungan *Efficiency* dengan Variasi *Rake* dan Diameter pada *Propeller* pada RPM 230

Gambar 26 dan 27 menunjukkan hasil dari modifikasi *rake* dan modifikasi diameter. Bila ditinjau dari variasi *rake* pada masing-masing diameter, dapat diberikan kesimpulan bahwa pada kasus ini yaitu *rake* 0°, 2°, dan 5° pada diameter yang sama tidak terlalu memberikan pengaruh pada kenaikan maupun penurunan dari *thrust* dan *torque*. Ditinjau dari variasi diameter, dengan *rake* yang sama nilai *thrust* dan *torque* akan mengalami kenaikan sesuai dengan rumus perhitungan dari data Wageningen. Pada kecepatan 230 rpm diperoleh *thrust* terbesar yakni 12076 N dan nilai efisiensi 0,7443. Nilai *thrust* pada rpm 230 lebih besar dibandingkan nilai *thrust* 190 rpm yakni 5478,806 N dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni $T = KT \rho n^2 D^4$.

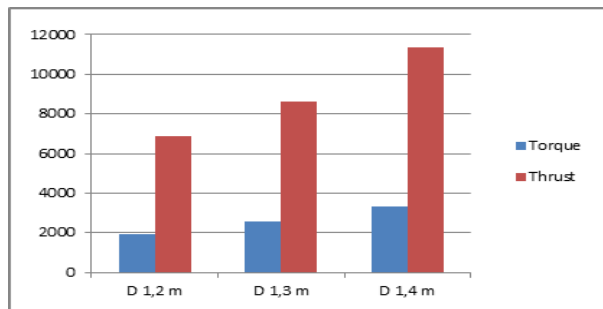


Gambar 28. Hasil Perhitungan *Thrust* dan *Torque* dengan Variasi *Pitch* pada *Propeller* pada RPM 230

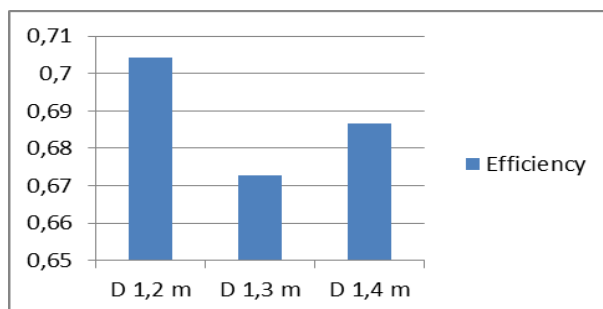


Gambar 29. Hasil Perhitungan *Efficiency* dengan Variasi *Pitch* pada *Propeller* pada RPM 230

Gambar 28 dan 29 menunjukkan hasil dari modifikasi *pitch*. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar *pitch propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan grafik Wageningen diatas semakin besar *pitch* maka nilai $KT-KQ$ akan semakin besar pula dari hal itu maka *thrust* dan *torque* juga akan semakin besar. Sehingga diperoleh nilai *thrust* dan *torque* terbesar pada *pitch* 1,76 yakni 10835 N. Nilai *thrust* pada rpm 230 lebih tinggi dibandingkan nilai *thrust* 190 rpm pada variasi *pitch* yakni 5283,058 N dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni $T = KT \rho n^2 D^4$.



Gambar 30. Hasil Perhitungan Thrust dan Torque dengan Variasi Diameter pada Propeller pada RPM 230



Gambar 31. Hasil Perhitungan Efficiency dengan Variasi Diameter pada Propeller pada RPM 230

Gambar 30 dan 31 menunjukkan hasil dari modifikasi diameter. Melalui Tabel diperoleh nilai perhitungan semakin besar diameter *propeller* maka akan semakin besar pula *thrust* dan *torque propeller*. Hal ini sesuai dengan rumus perhitungan data grafik Wageningen yaitu $T = K_T \rho n^2 D^4$. Sehingga diperoleh nilai *thrust* terbesar melalui perhitungan CFD pada diameter 1,4 m yakni 11330 N. Nilai *thrust* pada rpm 230 lebih tinggi dibandingkan nilai *thrust* 190 rpm pada variasi diameter *propeller* yakni 4806,289 N pada variasi diameter dikarenakan rpm berbanding lurus dengan *thrust* dilihat dari rumus data Wageningen yakni $T = K_T \rho n^2 D^4$.

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 $Q = K_Q \rho n^2 D^5$. 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°, 2°, 5°. Dari hasil analisa diperoleh nilai *thrust* terbesar pada model *rake* 5°, *pitch* 1,56, dan diameter 1,4 m pada kecepatan 230 rpm yakni 12076 N.
2. Hasil variasi kecepatan yaitu semakin besar kecepatan kapal maka semakin besar nilai *thrust* dan *torque* dari sebuah *propeller*. Dilihat dari Tabel 20-22 yakni dengan kecepatan 230 rpm diperoleh nilai *thrust* yang lebih besar dari pada nilai *thrust* dan *torque* di Tabel 11-19 yang kecepatannya 180 rpm, 190 rpm, dan 210 rpm. Nilai *thrust* terbesar diperoleh pada model 5°, *pitch* 1,56, dan diameter 1,4 m pada kecepatan 230 rpm yakni 12076 N.
3. Nilai diameter *propeller* sebesar 1,4 m, *rake* 5°, *pitch* 1,56, dan kecepatan sebesar 230 rpm merupakan modifikasi model *propeller* yang paling tepat untuk memperoleh nilai *thrust* maksimum yaitu 12076 N, *torque* 3252,5 Nm dan efisiensi optimum sebesar 0,7443

4.2 Saran

1. Agar akurasi pada penelitian ini lebih baik, besar nilai sudut rake dapat dibuat lebih detail.
2. Salah satu cara untuk memperbaiki performance propeller dengan penambahan *energy saving devices*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Jurusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro untuk ilmu dan pengalamannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manik, Parlindungan. (2018). Propulsi Kapal. Semarang : Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [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 2x1850HP dengan Variasi Sudut Rake Menggunakan CFD, J Tek. Perkapalan, 5(1), pp 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/A0) dan *Pitch Ratio* (P/D) Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD), J. Tek. Perkapalan, 6(1), pp. 101-110.
- [4] Budi, P. B. S., Chrismianto, D., & Rindo, G. (2016). Analisa Nilai *Thrust* dan *Torque Propeller* Tipe B-Series pada Kapal Selam Midget 150M rengan Variasi *Skew Angle* dan *Blade Area Ratio* (Ae/Ao) Menggunakan Metode Cfd, J. Tek. Perkapalan, 13(3), pp. 109.
- [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, 3(4), pp. 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, 5(1), pp. 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, 4(2), pp. 352–361.
- [8] Carlton, John S. (2012). *Marine Propellers and Propulsion*. London : Elsevier Ltd.
- [9] Bernitsas, M.M., dkk. (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] Molland, Anthony F., Stephen R. Turnock, dan Dominic A. Hudson. (2011). *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*. New York : Cambridge University Press.