

Analisis Pengaruh Tipe *Nozzle* dan *Tip Clearance* terhadap Kinerja *Propeller K-Series* menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Mohamad Eko Kurniawan^{1*}, Dr. Agung Purwana, S.T., M.T.², Abdul Gafur, S.T., M.T.³

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*,2,3}

Email: ekokurniawan@student.ppns.ac.id¹; agung_purwana@ppns.ac.id²; abdul_gafur@ppns.ac.id³

Abstract - Many innovations have been developed in the shipbuilding industry, such as the use of waterjet and azipod propulsion systems. However, these options are considered less effective. Finally the shipping industry has innovated by adopting ducted propeller technology. This Final Year Project aims to conduct fluid flow simulation tests on the propeller with variations in nozzle sizes, namely 19A and 37 and tip clearance values of 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, and 60 mm. The analysis is performed using Computational Fluid Dynamics (CFD) to obtain values for thrust, torque, and efficiency. The simulation results, the smaller tip clearance, the greater resulting thrust and torque values, namely 61874 N and 13128 Nm on models with a 20 mm tip clearance. Then, the greater value of thrust or torque, the better performance of the propeller. The largest thrust value was obtained, namely 61874 N and the largest torque, namely 13128 Nm. Thus, the propeller has good performance when paired with nozzle 37. For efficiency, the better performance of the propeller with the recommended nozzle type and tip clearance is 37 nozzle and 20 mm tip clearance with the greatest efficiency value is at J 0.6 of 0.686.

Keyword: CFD, ducted propeller, torque, thrust, tip clearance.

Nomenclature

K_T	: Koefisien dorong
K_Q	: Koefisien torsi
J	: Koefisien <i>advanced</i>
V_a	: Kecepatan <i>advanced</i> (m/s)
D	: Diameter <i>propeller</i> (m)
n	: Putaran (rpm)
T	: Gaya dorong / <i>Thrust</i> (N)
Q	: Torsi / <i>Torque</i> (Nm)
η_o	: Efisiensi <i>open water</i>
ρ	: Massa jenis air laut (kg/m ³)
π	: Pi
g	: gravitasi bumi (m/s ²)

1. PENDAHULUAN

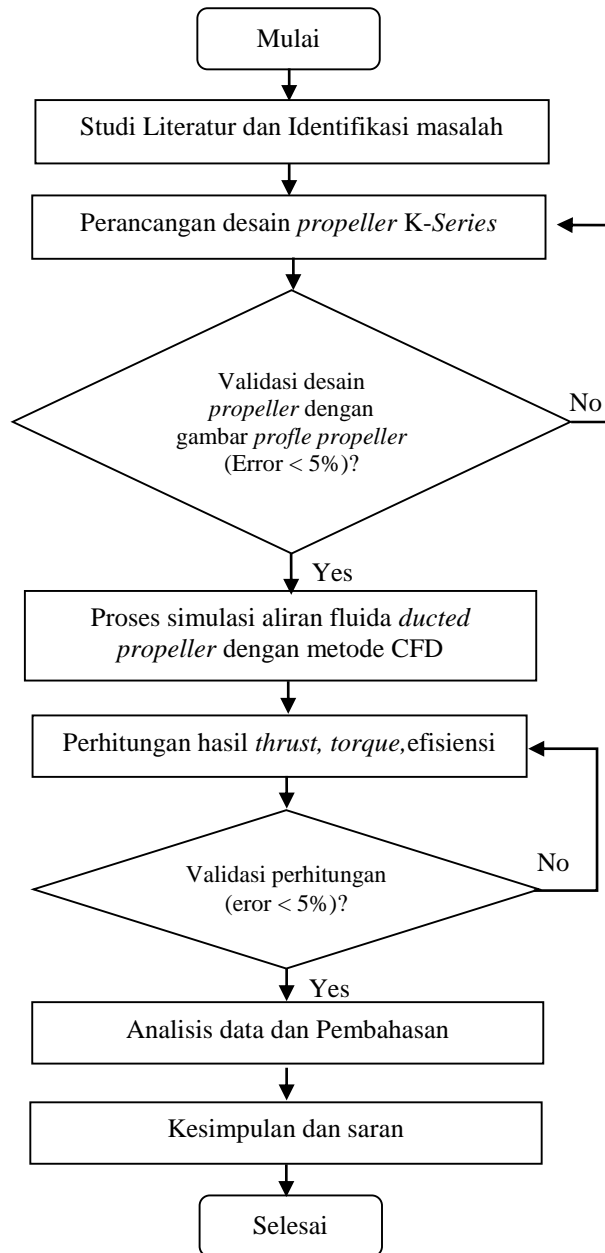
Propeller atau baling-baling adalah perangkat dengan hub yang berputar dan berfungsi sebagai alat penggerak kapal. Baling-baling digunakan untuk memompa cairan melalui pipa untuk menciptakan daya dorong dan mendorong kapal melalui air. Terdapat peraturan pemerintah nomor 52 tahun 2012 pasal 84 yang menyatakan bahwa kapal yang beroperasi pada sungai di Indonesia wajib menjaga kecepatan agar tidak menimbulkan gelombang yang dapat mengganggu keselamatan kapal sungai dan danau lainnya. Hal tersebutlah yang membuat pihak *owner* berinovasi membuat suatu kapal yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan kecepatan dinas (V_S) seperti yang

direncanakan. Hal ini mempunyai arti bahwa kapal haruslah mempunyai rancangan sistem propulsi yang baik agar kecepatan dinasnya dapat terpenuhi. Salah satu komponen utama sistem propulsi adalah alat penggerak (*propeller*), pemilihan alat penggerak yang efektif akan mempengaruhi gaya dorong yang dihasilkan pada kapal tersebut [2].

Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini, dilakukan analisis mengenai teknis penerapan *Duct propeller* pada kapal *river tug boat* di perairan sungai. Dalam hal ini *Duct propeller* bertujuan untuk memaksimalkan kinerja *propeller*. Setelah dilakukan perancangan desain, peneliti juga melakukan analisis aliran untuk memaksimalkan inovasi yang sudah digagas. Analisis ini menggunakan variasi *tip clearance* (20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm dan 60 mm) dan tipe *duct propeller* (19-A dan 37). Prosedur ini dilakukan menggunakan perangkat lunak dan diperlukan untuk menentukan hubungan antara *tip clearance* dengan *thrust* dan *torque*. Supaya tidak melebar bahasan pada Tugas Akhir ini, maka peneliti memberikan beberapa batasan masalah yakni diameter *propeller* yang digunakan 1,5 meter. Penelitian difokuskan pada *ducted propeller* tidak untuk konstruksi *support* terhadap lambung kapal. Besar *pitch ratio propeller* 0,99.

2. METODOLOGI

Berikut merupakan alur dari pengerjaan Tugas Akhir yang digagas oleh penulis.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Data yang dipergunakan oleh bersumber dari pihak *owner* kapal dan juga dari pihak galangan pada saat melaksanakan *On The Job training* pada tanggal 17 Januari – 17 November 2022. data yang diperoleh antara lain *Engine Specification*, *Principal Dimension* kapal TB. Berau coal 26, *propeller profile*, *Lines Plan*, dan *General Arrangement*.. Berikut ini adalah data utama *propeller* yang digunakan

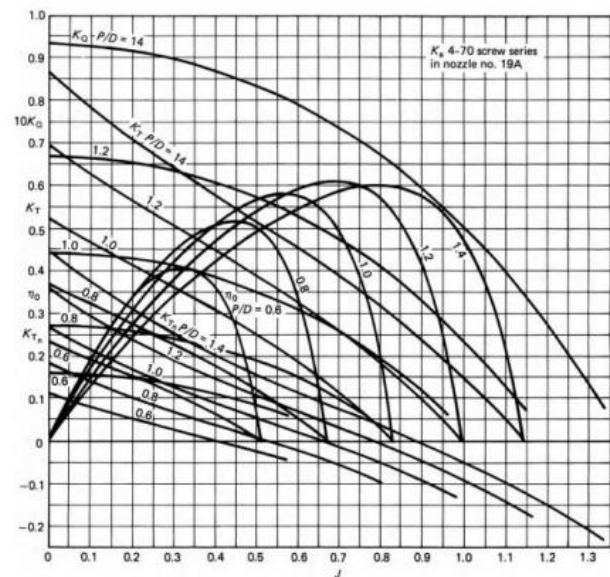
Tabel 1. Data Utama *Propeller*

Tipe <i>propeller</i>	KA 4-70
Rotasi	Kanan
Diameter	1530 mm
Rpm	250
P/D	0,99
<i>Blade area ratio</i>	0,7

Pembuatan model *propeller* dikerjakan dengan menggunakan *software CAD*. Model *ducted propeller* yang akan dibuat disesuaikan dengan batasan masalah yang sudah ditentukan di awal, yaitu :

1. *Propeller* jenis Kaplan 4 Blade
2. Diameter *propeller* 1,53 m
3. P/D = 0,99
4. Jenis *duct* yang digunakan *nozzle 19A*, dan *nozzle 37*
5. Besar *tip clearance* yang digunakan = 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm
6. Besar $L_D/D = 0,5D$

Pada umumnya, karakteristik dari *propeller* kapal saat kondisi *open water test* (yang menjadi fokus penelitian penulis). Dalam kondisi tersebut, direpresentasikan pada diagram $K_T - K_Q$. Grafik $K_T - K_Q$ disajikan pada Gambar 2 berikut [1],



Gambar 2. Grafik $K_T - 10K_Q - J$

Perhitungan manual *thrust* dan *torque* dilakukan bertujuan melakukan validasi persentase *error thrust* dan *torque* hasil simulasi *CFD*. Validasi yang dilakukan membandingkan nilai *thrust* dan *torque* hasil simulasi numerik dan perhitungan manual. *Error* nilai *thrust* dan *torque* tidak lebih dari 5%. Model persamaan untuk karakteristik kinerja *propeller* adalah sebagai berikut [3],

1. *Wake Friction*

$$W = 0,55 C_b - 0,20$$

2. *Speed Advanced*

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

3. $K_T - K_Q - J$

$$j = \frac{V_a}{nD}$$

4. *Thrust*

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

5. *Torque*

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

6. Efisiensi

$$\eta = \frac{K_T J}{K_Q 2\pi}$$

7. Error thrust dan torque

$$\frac{T_{simulasi} - T_{perhitungan}}{T_{perhitungan}} \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan Propeller

Model *propeller* yang akan dilakukan pada uji simulasi melalui proses pemodelan pada 2 perangkat lunak . yakni *PropCad* dan *SolidWork*. Berikut merupakan hasil desain yang telah dirancang.



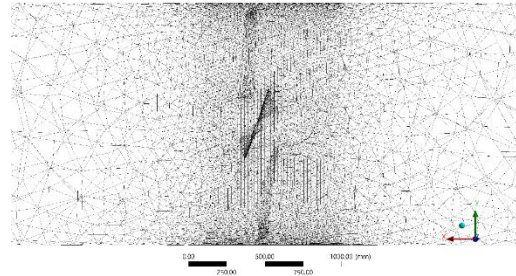
Gambar 3. Desain *propeller* pada *PropCad*



Gambar 4. Desain *ducted propeller* pada *SolidWork*

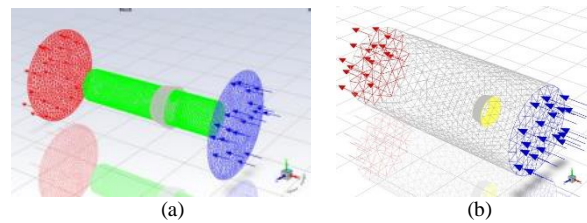
3.2 Geometry dan Set Up

Setelah proses desain dilakukan, maka akan dilakukan uji simulasi dengan membuat *boundary condition* pada *Domain Stasioner* (Tetap) dengan kecepatan aliran *Advancing speed* (V_a) dan *Domain Rotary* (Berputar). domain ini dipengaruhi oleh putaran dari *propeller*. Tahapan dalam proses simulasi adalah pembuatan *geometry, meshing, set-up, solution, result*.



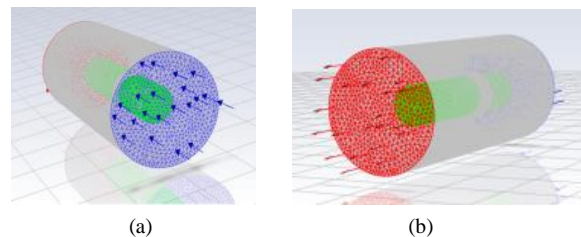
Gambar 5. *Meshing* pada model

Usai dilakukan serangkaian tahap persiapan simulasi (*input geometry dan meshing*), maka dilakukanlah proses *set up* data dengan *boundary condition* yang sudah ditentukan.



Gambar 6. (a) Pengaturan *domain rotary* (b) Pengaturan *domain statik*

Setelah *basic setting domain stationary* selesai, kemudian mengatur *setting sub domain inlet, outlet, wall* serta *interface*. Untuk *sub domain inlet boundary details* normal *speednya* diatur dengan *inputan advancing speed* kapal (V_a). Kemudian dilanjutkan untuk melakukan *setting sub domain outlet*. Dengan arah keduanya telah ditampilkan pada Gambar 7 berikut,



Gambar 7. (a) *Sub domain Inlet* (b) *Sub domain outlet*

Untuk menentukan nilai *pressure outlet* pada *sub domain outlet* maka perlu dihitung menggunakan rumus *hydrostatic pressure* sebagai berikut Nilai *h* didefinisikan sebagai tinggi sarat air .

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 1025 \times 9,81 \times 2,5$$

$$P = 25138 \text{ pa}$$

3.3 Validasi pada Propeller

Usai proses tersebut, muncul hasil dari setiap uji. Setelah itu diperlukan adanya validasi terhadap *performance* maupun kecepatan fluida pada *propeller*, diperlukan adanya perbandingan antara hasil simulasi dan juga hasil dari perhitungan *performance propeller* dengan acuan diagram $K_T - K_Q - J$ tipe KA 4 70 dengan *nozzle* 19 A dan nilai *error* tidak melebihi 5%. Dari persamaan-persamaan yang tercantum pada bagian 2, didapatkan hasil komparasi perhitungan dan simulasi yang disajikan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 2. Hasil Kalkulasi Keseluruhan

Validasi	Perhitungan	Simulasi	Error (%)
<i>Thrust</i>	44516,68 N	44095,31 N	0,946546
K_T	0,229	0,227	0,946546
K_Q	0,0318	0,031326	1,490041
<i>Torque</i>	9458 Nm	9317,212 Nm	1,490041

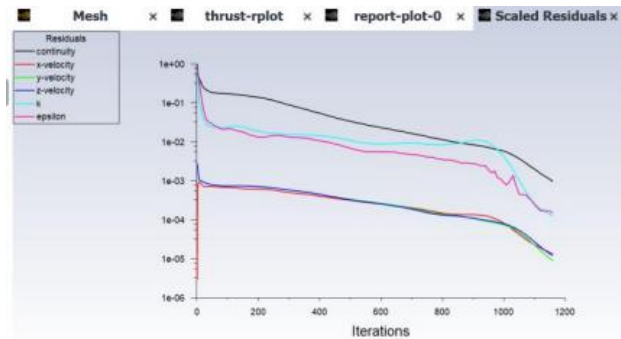
Berdasarkan hasil komparasi dari kalkulasi diatas, menunjukkan bahwa *error* untuk *thrust* dan K_T adalah 0,9% sedangkan pada *torque* dan K_Q memiliki nilai sebesar 1,49% maka dari itu bisa dikatakan **valid**. Proses validasi dilakukan untuk memperoleh hasil yang tepat atau bahkan mendekati hasil dari eksperimen terhadap model dan parameter yang akan dilakukan. pada proses simulasi, tahap validasi dalam penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi terhadap data perhitungan dari hasil pembacaan diagram $K_T - K_Q - J$. validasi ini dilakukan dengan cara membuat sebuah *grid independent* serta memvariasikan ukuran pada *scaled residual* dan total elemen pada saat *meshing*, setelah didapatkan hasil dari tiap variasi maka selanjutnya adalah membandingkan nilai *error* (%).

Tabel 3. Grid independent Test pada scaled residual 1e-03

Total Elemen	Simulasi		Perhitungan		Kenaikan Nilai (%)	
	T	Q	T	Q	T	Q
480000	44622	9503			0,24	0,48
250000	44346	9387	44517	9458	0,38	0,75
100000	44967	9567			1,01	1,15

berdasarkan tabel diatas, didapatkan hasil untuk *scaled residual* 1e-03 nilai *thrust* sebesar 44855 N dan 42 *torque* sebesar 9823 Nm, kemudian untuk nilai *scaled residual*

1e-04 didapatkan hasil *thrust* sebesar 44095,309 N dan *torque* sebesar 9317,2119 N.m, dari hasil tersebut nantinya akan dikomparasi dengan hasil dari perhitungan dan didapatkan nilai *error* (%) terkecil grafik dari *Grid Independence* disajikan dalam tabel berikut.



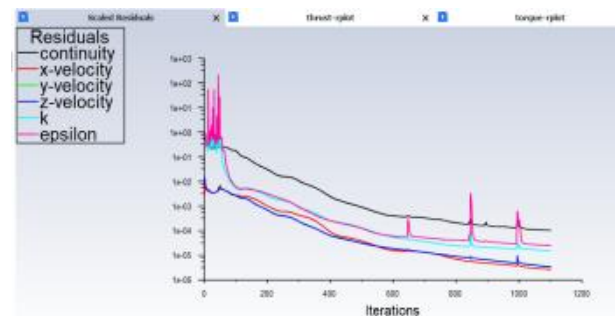
Gambar 8. Grafik scaled residual 1e-03

Pada grafik diatas menunjukkan hasil *grid independent* pada scaled residual 1e03 berdasarkan total elemen dimana berdasarkan hasil tersebut kenaikan *error* pada semua total elemen memenuhi standart sebesar <5% namun untuk mendapatkan hasil yang lebih valid kita memilih nilai *error* terkecil yaitu terjadi pada total elemen 480000 dengan presentasi untuk nilai *thrust* sebesar 0,24% sedangkan nilai *torque* sebesar 0,48%,.

Tabel 4. Grid independent Test pada scaled residual 1e-04

Total Elemen	Simulasi		Perhitungan		Kenaikan Nilai (%)	
	T	Q	T	Q	T	Q
480000	44609	9477			0,21	0,20
250000	44291	9379	44517	9458	0,51	0,84
100000	44264	9413			0,57	0,48

Pada Tabel 4 menunjukkan nilai dari hasil simulasi dengan menggunakan *scaled residual* 1e-04 dimana pada tabel tersebut menunjukkan nilai *error* terkecil terjadi pada total elemen 480000 dengan nilai *error* pada hasil simulasi *thrust* sebesar 0,21% dan *torque* sebesar 0,2

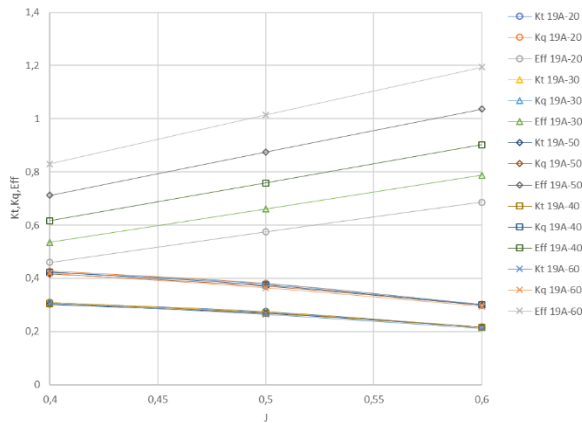


Gambar 9. Grafik scaled residual 1e-04

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwasanya dua residual tersebut dikatakan valid karena error < 5% namun untuk hasil yang mendekati dari hasil perhitungan maka diambil error terkecil yaitu pada *scaled residual* 1e-04.

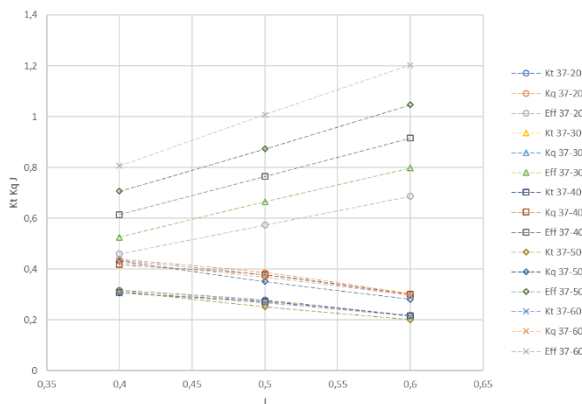
3.4 Hasil Simulasi

Selanjutnya, proses simulasi dilakukan untuk menganalisis *thrust* dan *torque* sesuai dengan parameter dan variasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan, maka didapatkan diagram $K_T - K_Q - J$ untuk masing-masing jenis model sebagai berikut :



Gambar 10. Grafik $K_T - K_Q - J$ pada nozzle 19A

Pada Grafik 9 diatas ditunjukkan nilai $K_T - 10K_Q - J$ pada model *propeller nozzle 19A* untuk semua nilai *tip clearance* dari hasil simulasi dimana pada nilai K_T , semakin besar nilai J maka nilai K_T akan semakin menurun dan begitu juga berlaku pada nilai K_Q , sedangkan untuk efisiensi titik tertinggi pada nilai J 0,6

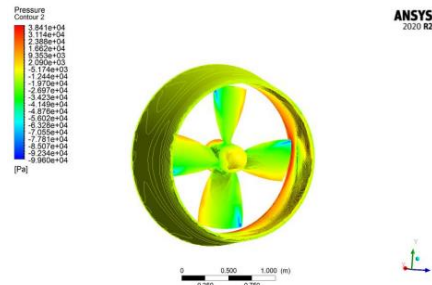


Gambar 11. Grafik $K_T - K_Q - J$ pada nozzle 37

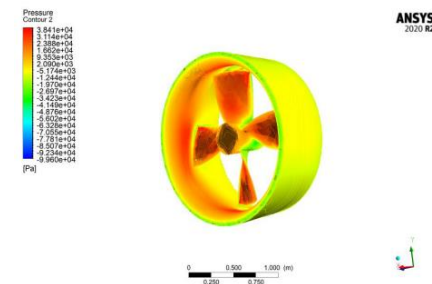
Grafik diatas menunjukkan hasil nilai $K_T - 10K_Q - J$ pada model *propeller nozzle 37* untuk semua nilai *tip clearance* dari hasil simulasi dimana pada nilai K_T ,

semakin besar nilai J maka nilai K_T akan semakin menurun dan begitu juga berlaku pada nilai K_Q , sedangkan untuk efisiensi titik tertinggi pada nilai J 0,6. Hasil dari simulasi juga ditampilkan dalam bentuk *countur*. Dapat dilihat pada gambar berikut,

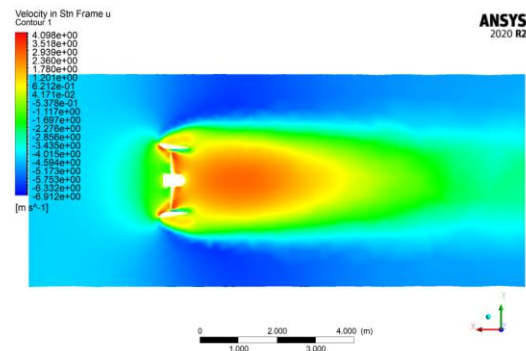
➤ KA-19A



Gambar 12. Face pressure

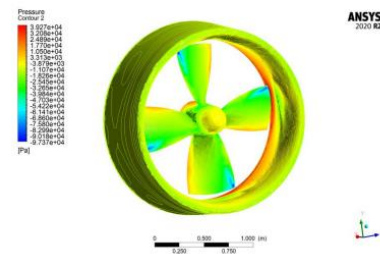


Gambar 13. Back pressure

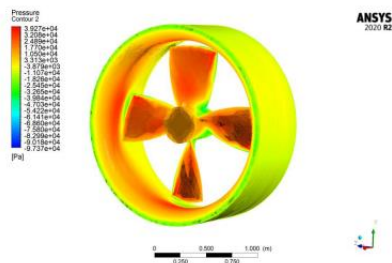


Gambar 14. Contur velocity terhadap arah sumbu x

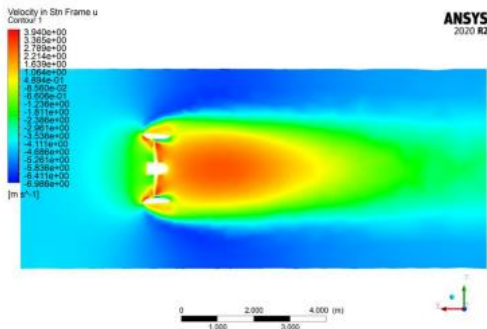
➤ KA- 37



Gambar 15. Face pressure



Gambar 16. Back pressure



Gambar 17. Contour velocity terhadap arah sumbu x

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan variasi *tip clearance* dan tipe *nozzle* terhadap nilai *thrust* dan *torque*, dapat disimpulkan bahwa :

1. Jarak (*tip clearance*) terhadap nilai *thrust* dan *torque* memiliki keterkaitan hubungan keduanya yakni berbanding terbalik. Semakin kecil *Tip clearance* maka nilai *thrust* yang dihasilkan semakin besar yakni 61567 N pada model dengan *tip clearance* 20 mm. Begitu pula, semakin kecil *tip clearance* maka semakin besar nilai *torque* yang dihasilkan yakni 13049 Nm pada model 20 mm. Sehingga pada kondisi tersebut adalah kondisi paling baik.
2. Gaya – gaya yang bekerja pada *propeller* meliputi *force lift* dan *force drag* dimana arah dari gaya *force lift* searah dengan *aerofoil* sedangkan *force drag* tegak lurus terhadap *force lift*, gaya – gaya ini yang mempengaruhi kenaikan dari nilai *thrust* dan *torque* sehingga pada penelitian ini nilai *torque* berbanding lurus dengan *thrust*. Pada punggung permukaan *aerofoil* memiliki tekanan yang rendah sedangkan pada bagian dalam *aerofoil* memiliki tekanan yang tinggi. Pada penelitian ini didapatkan nilai *thrust* terbesar yakni 61567 N dan *torque* terbesar yakni 13049 Nm. Dimana keduanya terdapat pada tipe *nozzle* 37. Artinya pada *propeller* memiliki kinerja bagus saat

dipasang dengan *nozzle* 37 ini dikarenakan tekanan dalam permukaan *aerofoil* pada *nozzle* 37 lebih tinggi dibandingkan *nozzle* 19A dan juga bentuk *aerofoil* pada *nozzle* 37 memungkinkan aliran fluida yang masuk lebih besar dibandingkan dengan *nozzle* 19A.

3. Pada penelitian ini menghasilkan tipe *nozzle* dan *tip clearance* yang direkomendasikan adalah *nozzle* 37 dan *tip clearance* 20 mm dengan nilai efisiensi terbesar yakni pada nilai J 0,6 sebesar 0,686.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan, motivasi, semangat dan nasehat dari berbagai pihak. Dengan demikian penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Agung Purwana, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I
2. Bapak Abdul Gafur, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II
3. Kedua Orang tua penulis yang turut mendoakan dan memberikan segalanya kepada penulis.
4. Teman-teman angkatan Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal PPNS Angkatan 2019.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fang, L. (2022). *Hydrodynamic Characteristics of a New Thrust Vectoring Ducted Propeller with Slotted Nozzle*. Ocean Engineering, 4.
- [2] Habibi, M., & Pribadi, T. W. (2017). *Perencanaan dan Pengendalian Jadwal Pembuatan Gambar Desain dan Produksi Pembangunan Kapal Baru dengan Metode Simulasi*. Jurnal Teknik ITS, 2. .
- [3] Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Second Revision*. Jersey City, NJ: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.