

INVESTIGASI ALIRAN PADA *THRUSTER ROV (REMOTELY OPERATED VEHICLE)* MENGGUNAKAN METODE CFD

Kevin Raynaldo¹, Steven Darmawan^{1*}, Agus Halim¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara

*Email: Stevend@ft.untar.ac.id

Masuk: 02-12-2020, revisi: 23-09-2021, diterima untuk diterbitkan: 06-10-2021

ABSTRAK

Remotely Operated Vehicle (ROV) merupakan sebuah *underwater robot* yang didesain oleh Tim Robotik UNTAR dan telah berkompetisi dalam *Singapore Robotics Games (SRG) 2020*. Evaluasi yang dilakukan terhadap hasil kompetisi tersebut adalah terdapat kebutuhan untuk melakukan optimasi dalam *thrust* dan kemampuan bermanuver sehingga ROV dapat bergerak lebih fleksibel dan stabil. Berdasarkan permasalahan tersebut, investigasi pada konfigurasi *thruster* dengan penambahan *kort nozzle* terhadap *existing propeller* diimplementasikan untuk meningkatkan *thrust* dan unjuk kerja. Pertimbangan dalam penggunaan *open water characteristics* sebagai dasar analisis diuraikan dalam investigasi ini. *Existing propeller* memiliki 3 buah *blade* dengan diameter 35 mm; *pitch diameter ratio* sebesar 1,4; dan *expanded blade area ratio* sebesar 0,511 yang mana digunakan sebagai *thruster ROV 2020*. Investigasi tersebut menggunakan pendekatan CFD dalam *software ANSYS CFX 2020 R1* dengan metode *moving reference frame (MRF)*. Sementara itu, *computational mesh* menggunakan jenis *general mesh* atau *unstructured mesh arrangements* dengan total 165.201 *nodes*. MRF mengimplementasikan konsep *frozen rotor* sebagai *frame change/mixing* untuk mengamati aliran fluida. CFD dilakukan dengan menggunakan model *shear stress transport (SST) k-omega*. Simulasi tersebut dilakukan pada 300 rpm dan $J = 0,473$ sebagai *operating condition ROV*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *thruster* yang dilengkapi *kort nozzle* mampu meningkatkan *thrust* sebesar 2,253% dan mengurangi torsi yang dibutuhkan *propeller* sebesar 6,633%. Lebih lanjut, konfigurasi ini juga dapat mengurangi fenomena *wake* sebagai akibat dari putaran *propeller* yang mana merepresentasikan peluang manuver yang lebih baik.

Kata Kunci: ROV; *kort nozzle*; *open water characteristics*; CFD; unjuk kerja

ABSTRACT

Remotely Operated Vehicle (ROV) is an *underwater robot* that designed by UNTAR Robotics Team and has been competed in *Singapore Robotics Games (SRG) 2020*. Evaluation that conducted from the competition is the need of optimization in *thrust* and maneuverability so it can move more flexible and stable. Based on the problem, investigation of *thruster's* configuration by adding *kort nozzle* to *existing propeller* is implemented to increase *thrust* and performance. Consideration in using *open water characteristics* for analysis is elaborated in this investigation. The *existing propeller* has 3-blade with 35 mm diameter; 1,4 *pitch diameter ratio*; and 0,511 *expanded blade area ratio* which is used as *thruster of ROV 2020*. It utilizes CFD approach in *ANSYS CFX 2020 R1* software with *moving reference frame (MRF)* method. Meanwhile, *general mesh* or *unstructured mesh arrangements* is used as *computational mesh* with 165.201 *nodes*. The MRF implements *frozen rotor* concept as *frame change/mixing* to observe fluid flow. The CFD with *shear stress transport (SST) k-omega* model is conducted. The simulation is done at 300 rpm and $J = 0,473$ for ROV's *operating condition*. The result shows that *thruster* equipped by *kort nozzle* is able to increase the *thrust* for 2,253% and reduce the *propeller* required torque for 6,633%. Furthermore, the configuration can also reduce *wake* phenomenon as result of rotating *propeller* which represents better maneuver chance.

Keywords: ROV; *kort nozzle*; *open water characteristics*; CFD; performance

1. PENDAHULUAN

Salah satu model pengembangan teknologi yang dipersiapkan Tim Robotik Universitas Tarumanagara (UNTAR) untuk kompetisi robotik mendatang adalah *underwater robot* berjenis ROV (*Remotely Operated Vehicle*). *Underwater robot* merupakan sebuah *prototype* robot yang memiliki andil penting dalam keamanan pelabuhan, eksplorasi angkatan laut, keperluan sains, dan bahkan perawatan kebersihan bawah air (SRG2020, 2019). Melalui kompetisi *underwater robot* ini, mahasiswa sebagai calon *engineer* dapat memberikan usulan inovasi melalui pendekatan *engineering* ke dalam pengembangan ROV, khususnya terhadap *existing model* ROV yang telah dilombakan pada *Singapore Robotic Games (SRG) 2020*.

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap ROV karya Tim Robotik UNTAR pada *SRG 2020*, masih terdapat unsur yang perlu dioptimasi khususnya dalam peningkatan *thrust* maupun kemampuan bermanuver sehingga menjadi lebih baik dan stabil melalui konfigurasi *propeller* yang digunakan (Abidin et al., 2015; Bahatmaka et al., 2016, 2017). *Propeller* pada ROV akan memiliki unjuk kerja yang lebih baik apabila dapat menghasilkan *thrust* dan *power* yang lebih tinggi pada putaran yang lebih rendah (Christ & Wernli, 2013).

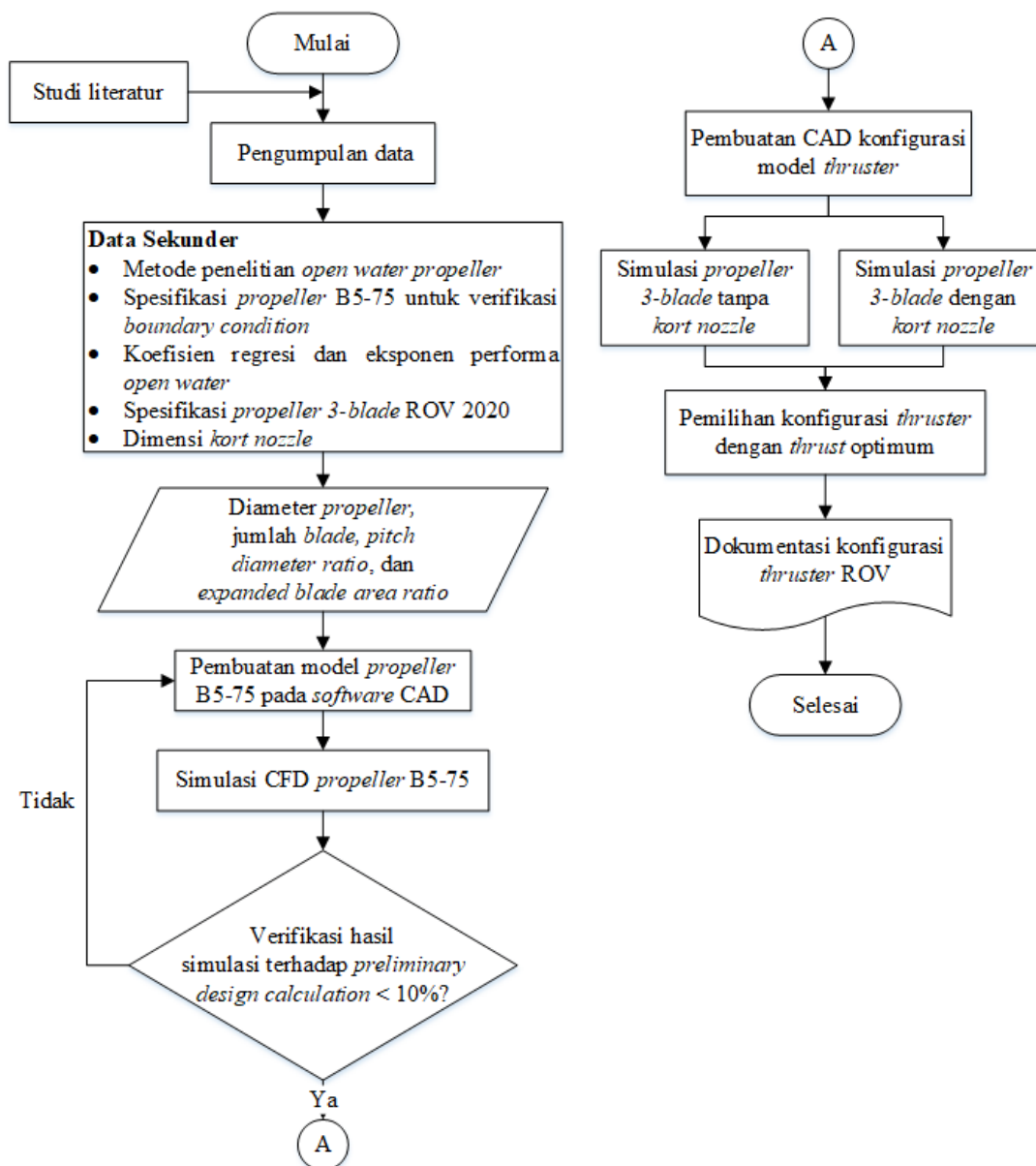
Mengacu pada keadaan tersebut, optimasi dilakukan terhadap model *thruster* dengan mengaplikasikan konsep desain *propeller* kapal atau *marine* sesungguhnya. Lebih lanjut, analisis optimasi didasarkan pada aplikasi *kort nozzle* dengan konfigurasi yang tepat untuk meningkatkan *thrust propeller* (Bahatmaka et al., 2016; Gerr, 2001). Kemudian, optimasi tersebut akan dianalisis dengan pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang mana melalui pendekatan ini, gambaran mengenai distribusi tekanan dan aliran fluida dapat diperoleh (Abidin et al., 2015; Bahatmaka et al., 2016, 2017; Muljowidodo et al., 2009; Pan et al., 2019; Rahman, 2016).

Analisis konfigurasi *thruster* untuk menghasilkan *thrust* optimum dilakukan dalam batasan tertentu, yang meliputi objek analisis berupa *propeller 3-blade* yang digunakan pada ROV 2020 yang mana memiliki diameter *blade* sebesar 35 mm; *pitch diameter ratio* sebesar 1,4 dan *expanded blade area ratio* sebesar 0,511. Lebih lanjut, simulasi dilakukan pada putaran 300 rpm dengan *advance coefficient* sebesar 0,473 dan pendekatan CFD dilakukan pada kondisi *steady-state* tipe *turbulent SST k-omega*.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan unjuk kerja dari penggunaan *kort nozzle* dan tanpa *kort nozzle* pada *existing propeller* sehingga diperoleh konfigurasi yang memiliki *thrust* optimum. Lebih lanjut, penelitian juga diarahkan untuk mendapatkan pengaruh nilai torsi dari masing-masing konfigurasi tersebut. Dengan demikian, *output* dari penelitian ini adalah penyajian konfigurasi *thruster* dengan *thrust* optimum sebagai referensi bagi Tim Robotik UNTAR khususnya dalam perancangan model *thruster* ROV 2021 untuk mengikuti kompetisi *SRG 2021*.

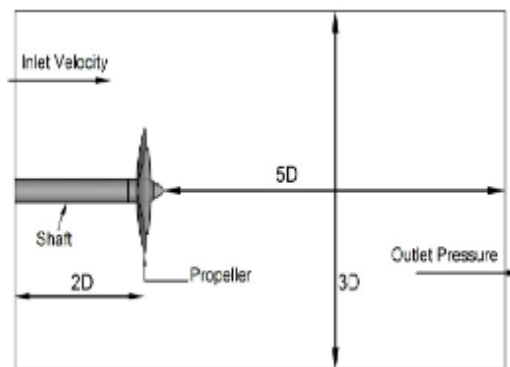
2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode numerik menggunakan *software* simulasi CFD ANSYS CFX 2020 R1 dengan pendekatan metode volume hingga (Abidin et al., 2015; Bahatmaka et al., 2016, 2017; Muljowidodo et al., 2009; Pan et al., 2019; Rahman, 2016; Versteeg & Malalasekera, 2007). Adapun *flowchart* metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart metode penelitian

Penelitian ini menggunakan *preliminary design calculation* atau perhitungan teoritis untuk memverifikasikan *boundary condition* dalam proses simulasi dengan menggunakan sebuah sampel *propeller* B5-75 yang diperoleh dari peneliti sebelumnya (Bahatmaka et al., 2016). Dengan terverifikasinya *boundary condition propeller* tersebut, maka pemodelan simulasi yang sama dapat diaplikasikan terhadap konfigurasi model *thruster* yang dianalisis. Melalui pemodelan tersebut, maka dapat dipilih konfigurasi *thruster* yang memiliki *thrust* paling optimum. Adapun metode pendekatan CFD yang digunakan adalah *Moving Reference Frame* (MRF) dengan model *boundary condition* sesuai Gambar 2, yang mana pengaturan didasarkan pada diameter terluar objek analisis (Bahatmaka et al., 2016, 2017; Joung et al., 2014; Majdfar et al., 2017; Voerman, 2012; Zhang et al., 2020).



Gambar 2. *Boundary condition of open water propeller*
(Bahatmaka et al., 2016, 2017)

Metode MRF yang diterapkan menggunakan konsep *frozen rotor* pada *frame change/mixing* pemodelan CFD. Lebih lanjut, terdapat dua *domain* utama dalam MRF ini, yaitu *stationary domain* yang meliputi fluida di sekitar *propeller* dan *rotating domain* yang meliputi *propeller* dengan ukuran *mesh* yang lebih kecil dibandingkan *stationary domain* (Joung et al., 2014; Majdfar et al., 2017; Voerman, 2012; Zhang et al., 2020). Perbedaan ukuran *mesh* dimaksudkan untuk mendapatkan komputasi yang lebih teliti meskipun membutuhkan waktu yang lebih lama (Darmawan & Tanujaya, 2019). Lebih lanjut, tipe *shear stress transport* (SST) k-omega dipilih sebagai pemodelan analisis turbulen dalam penelitian ini (Joung et al., 2014; Majdfar et al., 2017). Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar penelitian selanjutnya dengan melakukan komparasi antara eksperimen dan simulasi untuk menciptakan data yang saling berhubungan (Irawan et al., 2017).

Desain ROV

Desain *existing model* ROV yang digunakan dalam *Underwater Robot Competition-SRG 2020* dapat disajikan pada Gambar 3, sementara spesifikasi utama ROV tersebut disajikan pada Tabel 1.



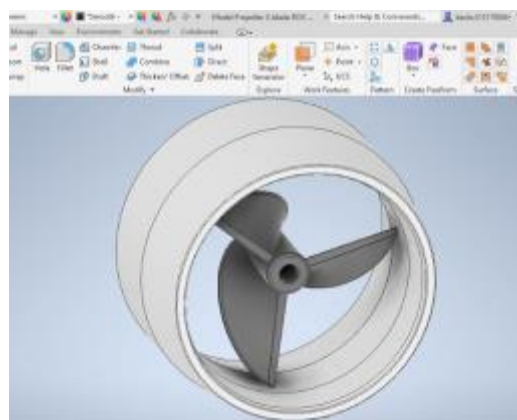
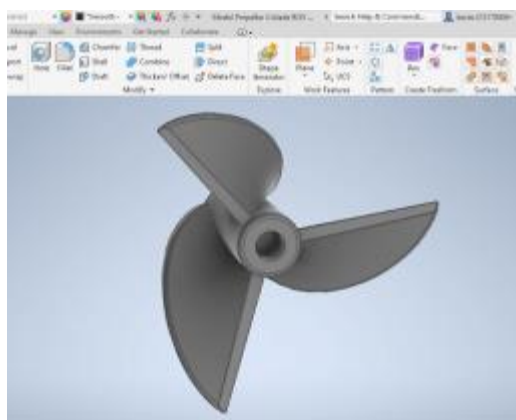
Gambar 3. *Existing model* ROV 2020

Tabel 1. Spesifikasi utama *existing model* ROV 2020

Dimensi	Nilai
Massa total dengan komponen di udara	1,5 kg
Berat total dengan komponen di udara	14,715 N

Konfigurasi Model *Thruster*

Konfigurasi model *thruster* yang dianalisis meliputi aplikasi *kort nozzle* pada *propeller*, yang mana jenis *kort nozzle* yang digunakan adalah Shushkin *nozzle* tipe C (Schneekluth & Bertram, 1998). Lebih lanjut, *clearance* yang ditetapkan pada *kort nozzle* antara *blade tip* dengan dinding dalam *kort nozzle* adalah 1% dari diameter *propeller* (Caldas et al., n.d.; Majdfar et al., 2017). Desain CAD konfigurasi *propeller* tersebut dibuat dalam *software* Autodesk Inventor 2020 yang disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5, sementara spesifikasi utama *propeller* diuraikan pada Tabel 2.



Gambar 4. *Propeller 3-blade* tanpa *kort nozzle* Gambar 5. *Propeller 3-blade* dengan *kort nozzle*

Tabel 2. Spesifikasi utama *propeller 3-blade* (Arduinouno, n.d.)

Spesifikasi	Nilai
<i>Pitch diameter ratio (P/D)</i>	1,4
Diameter <i>blade (D)</i>	35 mm
<i>Clearance</i> pada <i>tip</i>	0,35 mm
<i>Expanded blade area ratio (A_E/A₀)</i>	0,511
<i>Outline</i>	<i>custom</i>

Verifikasi *Boundary Condition*

Verifikasi *boundary condition* untuk simulasi *thrust* dan torsi *propeller* didasarkan pada perhitungan teoritis atau *preliminary design calculation*. *Preliminary design calculation* tersebut hanya dapat diaplikasikan pada *propeller outline B-series* untuk $Re < 2 \times 10^6$ (Gaafary et al., 2011; Oosterveld & van Oossanen, 1975). Oleh karena adanya keterbatasan dalam kecocokan perhitungan tersebut, maka diambil spesifikasi *propeller* dari peneliti sebelumnya yang menggunakan konsep *preliminary design calculation*. Adapun *propeller* tersebut berjenis B5-75 (*Propeller outline B-series* sejumlah 5-*blade* dengan *expanded blade area ratio* 0,75) dan dengan *pitch diameter ratio* 0,6 serta *advance coefficient* diasumsikan sebesar 0,15 (Bahatmaka et al., 2016).

Preliminary design calculation tersebut menggunakan persamaan *thrust coefficient (K_T)* dan *torque coefficient (K_Q)* sebagai fungsi jumlah *blade (z)*, *expanded blade area ratio (A_E/A₀)*, *pitch diameter ratio (P/D)*, dan *advance coefficient (J)* (Bahatmaka et al., 2016, 2017; Gaafary et al., 2011; Oosterveld & van Oossanen, 1975).

$$K_T = \sum_{n=1}^{39} (C_{Tn}) (J^{S_n}) \left(\frac{P}{D}\right)^m \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^{U_n} (Z^{v_n}) \tag{1}$$

$$K_Q = \sum_{n=1}^{47} (C_{Qn}) (J^{S_n}) \left(\frac{P}{D}\right)^m \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^{U_n} (Z^{v_n}) \tag{2}$$

dimana C_{Tn} dan C_{Qn} berturut-turut adalah koefisien regresi terhadap *thrust* dan torsi, sementara itu S_n , t_n , U_n , dan v_n berturut-turut adalah eksponen terhadap J , P/D , A_E/A_0 , dan Z . Adapun nilai koefisien regresi dan eksponen yang terdapat pada persamaan (1) dan (2) telah ditabelkan dalam (Oosterveld & van Oossanen, 1975).

Setelah nilai K_T dan K_Q diperoleh melalui persamaan (1) dan (2), selanjutnya kedua nilai tersebut di-input-kan ke dalam persamaan (3) dan (4) untuk mendapatkan nilai *thrust* dalam N (T) dan torsi dalam Nm (Q) (Bahatmaka et al., 2016, 2017; Gaafary et al., 2011; Oosterveld & van Oossanen, 1975):

$$T = K_T (\rho n^2 D^4) \tag{3}$$

$$Q = K_Q (\rho n^2 D^5) \tag{4}$$

dimana ρ adalah massa jenis fluida (kg/m^3), n adalah putaran (*rps*), dan D adalah diameter *propeller* (m).

Hasil perhitungan teoritis menggunakan konsep *preliminary design calculation* dan hasil simulasi *propeller* B5-75 dapat disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Verifikasi *thrust* simulasi *propeller* B5-75 terhadap *thrust* teoritis

Putaran	<i>Thrust</i> Teoritis	<i>Thrust</i> Simulasi	Penyimpangan
300 rpm	1,529 N	1,419 N	7,194 %

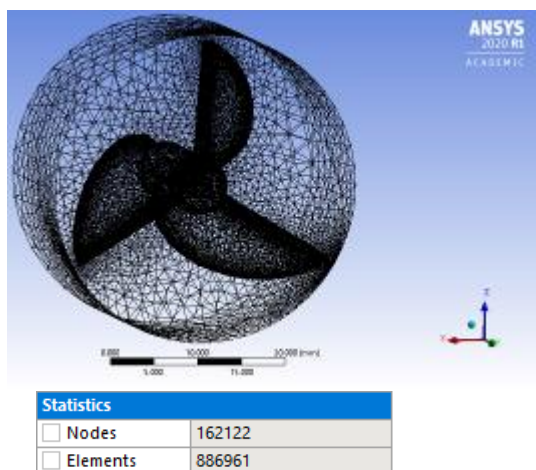
Tabel 4. Verifikasi torsi simulasi *propeller* B5-75 terhadap torsi teoritis

Putaran	Torsi Teoritis	Torsi Simulasi	Penyimpangan
300 rpm	0,0207 Nm	0,0212 Nm	2,415 %

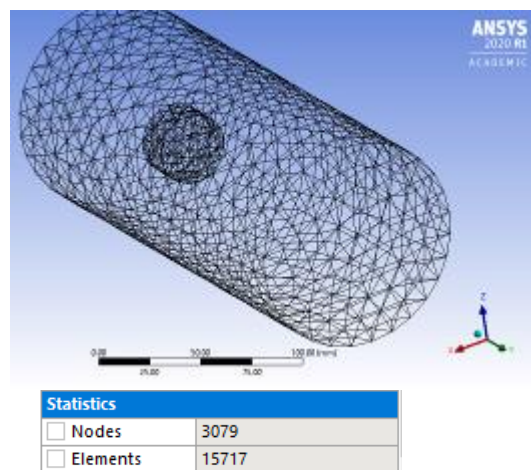
Berdasarkan hasil verifikasi *thrust* dan torsi pada Tabel 3 dan Tabel 4, nilai penyimpangan hasil simulasi terhadap perhitungan teoritis yang dapat diterima adalah kurang dari 10 %. Hasil verifikasi tersebut menunjukkan pada putaran 300 rpm, penyimpangan *thrust* dan torsi yang terjadi kurang dari 10 % sehingga hasil simulasi dapat terverifikasi. Dengan demikian, *boundary condition* dan pemodelan simulasi pada putaran 300 rpm sebagaimana yang juga diterapkan untuk seluruh konfigurasi model *thruster* dapat terverifikasi dan diaplikasikan.

Mesh Dependency Analysis

Analisis pengaruh jumlah *nodes* terhadap nilai *thrust* dan torsi hasil simulasi dilakukan untuk memilih *computational mesh* yang akan digunakan sebagai referensi, baik untuk *rotating domain* maupun *stationary domain* dengan pertimbangan waktu komputasi. *Computational mesh* yang digunakan untuk *rotating domain* dan *stationary domain* adalah jenis *general mesh* atau *unstructured mesh arrangements* yang mana secara berturut-turut dapat secure disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. *Origin mesh rotating domain*



Gambar 7. *Origin mesh stationary domain*

Komparasi beberapa variasi *computational mesh propeller 3-blade* dapat disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. *Mesh dependency analysis nilai thrust propeller 3-blade tanpa kort nozzle*

<i>Total Nodes</i>	Beda Total Nodes Terhadap Origin Mesh (%)	<i>Thrust (N)</i>	Penyimpangan Thrust Terhadap Origin Mesh (%)
316.529	+91,602	0,00601	+4,159
165.201		0,00577	
49.416	-70,087	0,00464	-19,584

Tabel 6. *Mesh dependency analysis nilai torsi propeller 3-blade tanpa kort nozzle*

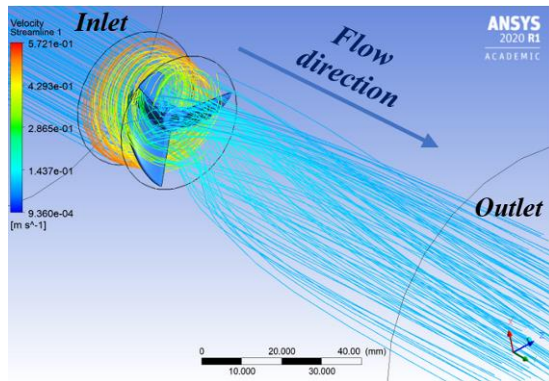
<i>Total Nodes</i>	Beda Total Nodes Terhadap Origin Mesh (%)	<i>Torsi (Nm)</i>	Penyimpangan Torsi Terhadap Origin Mesh (%)
316.529	+91,602	$7,856 \times 10^{-5}$	+1,775
165.201		$7,719 \times 10^{-5}$	
49.416	-70,087	$6,818 \times 10^{-5}$	-11,672

Berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 6, besarnya penyimpangan nilai *thrust* dan torsi pada *mesh* lebih rapat terhadap *origin mesh* adalah $< 5\%$. Sementara itu, besarnya penyimpangan nilai *thrust* dan torsi pada *mesh* lebih renggang terhadap *origin mesh* adalah $> 10\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan jumlah *nodes* akan memberikan penyimpangan lebih signifikan dibandingkan dengan penambahan jumlah *nodes*. Jumlah *nodes* pada *mesh* lebih rapat memiliki penyimpangan nilai *thrust* dan torsi yang tidak signifikan terhadap jumlah *nodes* pada *origin mesh*, sehingga jumlah total *nodes* pada *origin mesh* sebanyak 165.201 *nodes* dengan *element size* sebesar 10 mm pada *rotating domain* dan 12 mm pada *stationary domain* dipilih sebagai *computational mesh* karena memiliki waktu komputasi yang relatif lebih singkat dibandingkan dengan *mesh* lebih rapat.

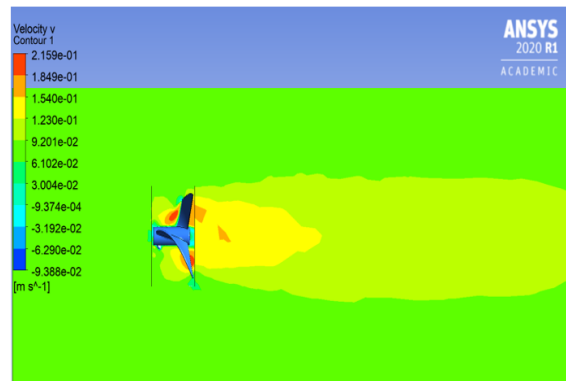
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis unjuk kerja konfigurasi model *thruster* ROV didasarkan pada nilai *thrust* yang dihasilkan melalui simulasi dengan *software* ANSYS CFX 2020 R1. Simulasi yang diaplikasikan pada konfigurasi model *thruster* didasarkan pada konsep *boundary condition* pada keadaan *open water test* yang telah terverifikasi terhadap perhitungan teoritis.

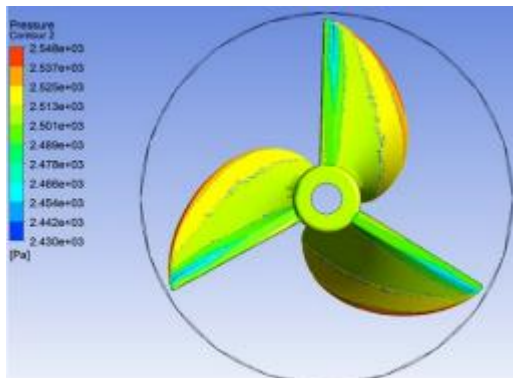
Hasil simulasi konfigurasi model *thruster* pada putaran 300 rpm dengan $J = 0,473$ sebagai *operating condition thruster* tersebut dapat disajikan pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 15.



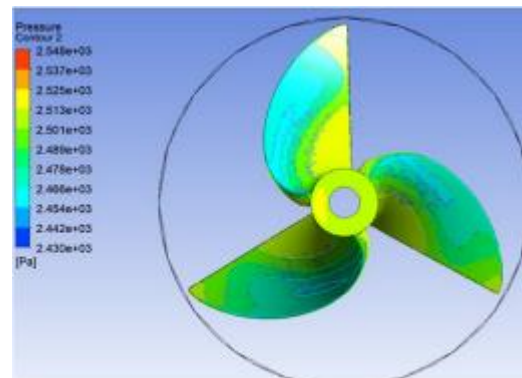
Gambar 8. *Velocity streamline propeller 3-blade tanpa kort nozzle*



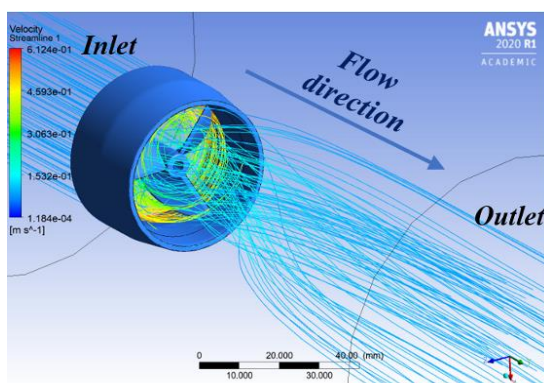
Gambar 9. *Velocity v contour propeller 3-blade tanpa kort nozzle*



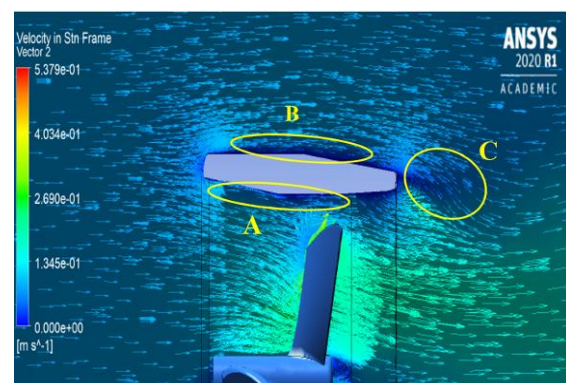
Gambar 10. *Face pressure contour propeller 3-blade tanpa kort nozzle*



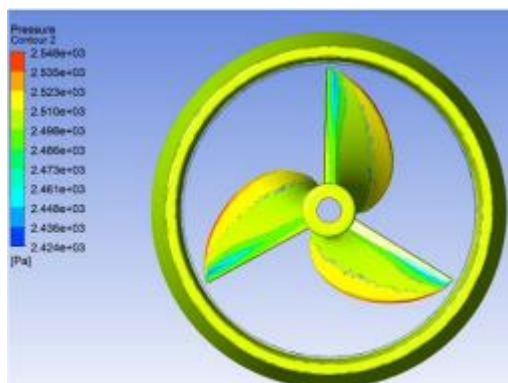
Gambar 11. *Back pressure contour propeller 3-blade tanpa kort nozzle*



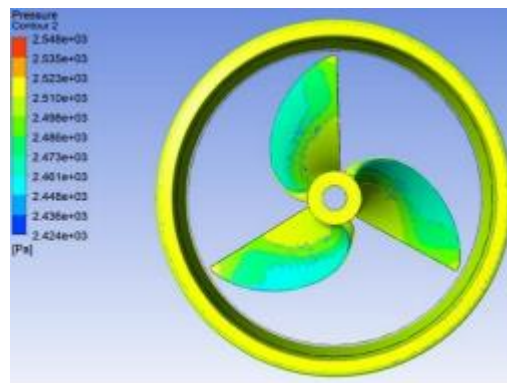
Gambar 12. *Velocity streamline propeller 3-blade dengan kort nozzle*



Gambar 13. *Velocity in stn frame vector propeller 3-blade dengan kort nozzle*



Gambar 14. *Face pressure contour propeller 3-blade dengan kort nozzle*



Gambar 15. *Back pressure contour propeller 3-blade dengan kort nozzle*

Tabel 7. Perbandingan unjuk kerja *thruster 3-blade* dengan *kort nozzle* terhadap tanpa *kort nozzle*

<i>Thrust</i> (N)		Perubahan <i>Thrust</i> (%)	<i>Torsi</i> (Nm)		Perubahan <i>Torsi</i> (%)
Tanpa <i>Kort Nozzle</i>	Dengan <i>Kort Nozzle</i>		Tanpa <i>Kort Nozzle</i>	Dengan <i>Kort Nozzle</i>	
0,00577	0,0059	+2,253	$7,719 \times 10^{-5}$	$7,207 \times 10^{-5}$	-6,633

Berdasarkan Tabel 7, aplikasi *kort nozzle* pada *propeller 3-blade* yang mana juga digunakan pada ROV 2020, dapat meningkatkan nilai *thrust* yang dihasilkan dan mengurangi terjadinya fenomena *wake* sebagai akibat dari putaran *propeller* terhadap *body* ROV. Peningkatan *thrust* melalui aplikasi *kort nozzle* adalah 2,253%. Lebih lanjut, adanya peningkatan nilai *thrust* yang dihasilkan oleh *propeller* melalui aplikasi *kort nozzle* juga disajikan dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Bahatmaka et al., 2016) yang mana dapat ditampilkan dalam Tabel 8. Penelitian tersebut menggunakan *propeller* dengan spesifikasi sebagai berikut: $D = 130$ mm; $P/D = 0,6$; $z = 5$; dan *outline* = *B-series* dengan analisis pada putaran 300 rpm.

Tabel 8. Hasil penelitian (Bahatmaka et al., 2016) pada nilai gaya (T) dan torsi (Q) *propeller*

Tipe Model		Gaya (T), N	Torsi (Q), Nm
B-Series (B5-75)	<i>Propeller</i> tanpa <i>nozzle</i>	1,67	0,016
	<i>Nozzle A</i>	2,06	0,020
	<i>Nozzle B</i>	2,12	0,021
	<i>Nozzle C</i>	2,26	0,023

Kemudian, adanya peningkatan *thrust* menggunakan *kort nozzle* dikarenakan terjadi akselerasi aliran air yang melewati dinding dalam *kort nozzle* yang ditunjukkan pada vektor kecepatan aliran yang lebih besar pada Gambar 13. Pada Gambar 13 tersebut, kecepatan aliran air di titik A (dinding dalam *kort nozzle*) lebih besar dibandingkan kecepatan aliran air di titik B (dinding luar *kort nozzle*), yang mana ditunjukkan dari warna vektor di titik A yang cenderung berwarna biru muda dibandingkan dengan warna vektor di titik B yang cenderung berwarna biru tua. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan yang berada sepanjang *streamline* titik B lebih besar dibandingkan dengan tekanan yang berada sepanjang *streamline* titik A. Profil *kort nozzle* yang mempertimbangkan aspek hidrodinamika tersebut memungkinkan terjadinya akselerasi aliran air di

bagian dinding dalam melalui perubahan luas diameter dalamnya, yang mana dilalui oleh air yang menuju *propeller*. Analisis visual hasil simulasi *kort nozzle* juga memberikan pengaruh berupa reduksi fenomena *wake* khususnya pada bagian *tip* pada *blade* sebagai hasil putaran *propeller*. Lebih lanjut, sebagai akibat dari perbedaan tekanan di titik A dan titik B, maka terjadi fenomena *swirling* atau pusaran air yang ditunjukkan pada vektor di titik C. Vektor aliran air tersebut bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan lebih rendah yang menciptakan fenomena *swirling*. Semakin besar beda kecepatan antara titik A dan titik B, maka semakin besar pula fenomena *swirling* terjadi. Sementara itu, peningkatan kecepatan aliran air di titik A merepresentasikan adanya peningkatan momentum partikel fluida yang menuju *propeller*, sehingga semakin banyak partikel fluida yang dapat dipindahkan oleh *propeller* dalam waktu yang sama. Keadaan ini sesuai dengan Hukum II Newton yang mana semakin besar momentum yang terjadi pada fluida, maka semakin besar *thrust* yang dihasilkan *propeller*.

Di sisi lain, peningkatan *thrust* yang relatif belum optimal, yaitu sebesar 2,253% dinilai sebagai akibat dari *operating condition* dimana *thruster* bekerja belum mencapai titik optimal operasi ROV. Di sisi lain, aplikasi *kort nozzle* sebagai *thruster* ROV dapat menurunkan torsi yang dibutuhkan untuk memutar *propeller* sebesar 6,633%. Fenomena ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh *operating condition* berdasarkan variabel *J* terhadap *thrust* dan torsi *propeller* yang telah dilakukan oleh (Zhang et al., 2020). Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan, maka konfigurasi model *thruster* yang terdiri dari *propeller 3-blade* dengan *kort nozzle* dipilih sebagai rekomendasi untuk *thruster* ROV 2021.

4. KESIMPULAN

Konfigurasi model *thruster* yang direkomendasikan untuk ROV 2021 adalah *thruster* yang terdiri dari *propeller 3-blade* dengan *kort nozzle*. Aplikasi *kort nozzle* pada *propeller 3-blade* dengan putaran 300 rpm dapat meningkatkan nilai *thrust* sebesar 2,253% dan menurunkan torsi yang dibutuhkan untuk memutar *propeller* sebesar 6,633%. Sementara itu, *kort nozzle* juga dapat mereduksi fenomena *wake* putaran *propeller* pada bagian *tip blade* terhadap *body* ROV yang mana merepresentasikan adanya peluang kestabilan manuver yang lebih baik. Lebih lanjut, melalui penetapan *operating condition* yang lebih optimal khususnya dalam *set up* putaran *propeller* dapat memberikan peluang peningkatan *thrust* pada ROV dengan *kort nozzle* yang lebih baik. Besarnya *thrust* dipengaruhi oleh nilai koefisien *advance* dan putaran *propeller* yang mana semakin optimal putaran *propeller* maka semakin tinggi *thrust* yang dapat dihasilkan. Penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan putaran kerja paling optimal dapat dilakukan untuk mendapatkan peningkatan *thrust* yang lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Tarumanagara dan rekan-rekan dalam Tim Robotik U-ROV UNTAR yang senantiasa mendukung proses penyusunan karya ilmiah ini.

REFERENSI

- Abidin, Z., Christmianto, D., & Trimulyono, A. (2015). Analisa Underwater Thruster Pada Remotely Operated Vehicle (Rov) Dengan Metode Cfd. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(2).
- Arduinouno. (n.d.). Boat Propeller Hole Diameter 3mm, Out Diameter 35mm CCW CW Sepasang. Retrieved October 6, 2020, from <https://www.tokopedia.com/ arduinouno/boat-propeller-hole-diameter-3mm-out-diameter-35mm-ccw-cw-sepasang>

- Bahatmaka, A., Kim, D.-J., & Chrismianto, D. (2016). Optimization of Ducted Propeller Design for the ROV (Remotely Operated Vehicle) Using CFD. *Advances in Technology Innovation*, 2(3), 73–84.
- Bahatmaka, A., Kim, D. J., Chrismianto, D., Hai, N., & Prabowo, A. R. (2017). Optimization of thrust propeller design for an ROV (Remotely Operated Vehicle) consideration by Genetic Algorithms. *MATEC Web of Conferences*, 138. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713807003>
- Caldas, A., Meis, M., & Sarasquete, A. (n.d.). CFD validation of different propeller ducts on open water condition.
- Christ, R. D., & Wernli, R. L. (2013). The ROV Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles: Second Edition. In *The ROV Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles: Second Edition*. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-07796-7>
- Darmawan, S., & Tanujaya, H. (2019). CFD investigation of flow over a backward-facing step using an RNG k- ϵ turbulence model. *International Journal of Technology*, 10(2), 280–289. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i2.800>
- Gaafary, M. M., El-Kilani, H. S., & Moustafa, M. M. (2011). Optimum design of B-series marine propellers. *Alexandria Engineering Journal*, 50(1), 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2011.01.001>
- Gerr, D. (2001). Propeller Handbook: The Complete Reference for Choosing, Installing, and Understanding Boat Propellers. McGraw-Hill Professional.
- Irawan, A. P., Halim, A., & K., H. (2017). Hybrid robot system design. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 237 012006.
- Joung, T. H., Choi, H. S., Jung, S. K., Sammut, K., & He, F. (2014). Verification of CFD analysis methods for predicting the drag force and thrust power of an underwater disk robot. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 6(2), 269–281. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0178>
- Majdfar, S., Ghassemi, H., Forouzan, H., & Ashrafi, A. (2017). Hydrodynamic prediction of the ducted propeller by CFD solver. *Journal of Marine Science and Technology (Taiwan)*, 25(3), 268–275. <https://doi.org/10.6119/JMST-016-1214-2>
- Muljowidodo, K., Adi N., S., Budiyo, A., & Prayogo, N. (2009). Design of SHRIMP ROV for surveillance and mine sweeper. *Indian Journal of Marine Sciences*, 38(3), 332–337.
- Oosterveld, M. W. C., & van Oossanen, P. (1975). Further Computer-Analyzed Data of the Wageningen B-Screw Series. *International Shipbuilding Progress*, 22(251), 251–262. <https://doi.org/10.3233/isp-1975-2225102>
- Pan, Y. cun, Zhang, H. xin, & Zhou, Q. dou. (2019). Numerical simulation of unsteady propeller force for a submarine in straight ahead sailing and steady diving maneuver. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 11(2), 899–913. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2019.04.002>
- Rahman, D. A. D. (2016). *Studi Kasus Modifikasi Daun Propeller Pada MV. Meratus Barito* [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <http://repository.its.ac.id/51141/>
- Schneekluth, H., & Bertram, V. (1998). Ship Design for Efficiency and Economy. In *Ship Design for Efficiency and Economy*. Butterworth Heinemann. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-4133-3.x5000-2>
- SRG2020. (2019). *Underwater Robot Competitions*.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. In *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume*

method: Vol. M (2nd ed.). http://books.google.nl/books?id=RvBZ-UMpGzIC&hl=nl&source=gbs_navlinks_s

Voerman, M. (2012). Research into the effect of Counter-Rotating Propellers, for the propulsion of a Vertical Take-Off and Landing Ducted Fan UAV, n the flow pattern.

Zhang, Q., Jaiman, R. K., Ma, P., & Liu, J. (2020). Investigation on the Performance of a Ducted Propeller in Oblique Flow. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 142(1). <https://doi.org/10.1115/1.4043943>