

Numerical Simulation of the Effect of NACA 0012 Nozzle Geometry on Ducted Propeller Performance

Simulasi Numerik Pengaruh Geometri *Nozzle* NACA 0012 pada Performa *Ducted Propeller*

Muhammad Ramadhani Suryolaksono¹, Muhammad Agung
Bramantya²

{muhramadhani@gmail.com¹, bramantya@ugm.ac.id²}

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah
Mada

Abstract. *Ducted propeller is a method on the propeller modification which added duct/nozzle on the propeller. Ducted propeller application is aimed to increase propeller thrust, increase propeller efficiency, and decrease propeller noise and vibration. In this research, a numerical simulation was conducted using ANSYS Fluent 2020 R2 with k-epsilon solver model. The aim of this research is to analyze the effect of the duct geometry using Ld/D (duct length/duct diameter) ratio. The simulation was done on two Ld/D variations at three different propeller angular velocity (1.000, 3.000, 5.000 rpm). The result of this research shows that duct with 0,6 Ld/D ratio has higher thrust force than duct with 0,5 Ld/D ratio. Meanwhile, the increase of propeller angular velocity increase propeller thrust force and fluid velocity.*

Keywords – *Ducted Propeller; Ld/D Ratio; Nozzle; Numerical Simulation; Thrust*

Abstrak. *Ducted propeller merupakan salah satu modifikasi yang dilakukan terhadap propeler dengan menambahkan duct/nozzle. Penggunaan ducted propeller bertujuan untuk meningkatkan gaya dorong (thrust), meningkatkan efisiensi propeler hingga mengurangi getaran dan noise pada propeler. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi numerik menggunakan software ANSYS Fluent 2020 R2 dengan model penyelesaian k-epsilon untuk menganalisis pengaruh geometri duct dengan parameter Ld/D (panjang duct/diameter duct). Simulasi dilakukan pada dua variasi rasio Ld/D, yakni 0,5 dan 0,6 dengan tiga variasi kecepatan putaran propeler (1.000, 3.000, 5.000 rpm). Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa duct dengan rasio Ld/D 0,6 memiliki nilai thrust yang lebih tinggi dibandingkan duct dengan rasio Ld/D 0,5. Di sisi lain, peningkatan kecepatan putaran propeler juga meningkatkan thrust dan kecepatan aliran fluida yang dihasilkan.*

Kata Kunci – *ducted propeller; nozzle; rasio Ld/D; simulasi numerik; thrust;*

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang mayoritas wilayahnya berupa laut atau perairan. Direktorat Jendral Pengelolaan Ruang Laut menunjukkan bahwa luas wilayah lautan Indonesia mencapai 3,25 juta km² dan masih ada 2,55 juta km² Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) dari luas total 7,81 km² [1]. Hal tersebut menuntut perkembangan yang pesat di bidang kemaritiman dan kelautan agar potensi yang ada bisa dimanfaatkan semaksimal mungkin. Salah satu penelitian yang terus berlangsung di bidang kemaritiman adalah penelitian tentang propeler sebagai penggerak kapal.

Propeler sebagai penggerak kapal sudah jauh berkembang dari sejak pertama ditemukan. Saat ini, sudah muncul berbagai jenis propeler, mulai dari propeler yang bisa diatur sudut *pitch*-nya (*controlable pitch propeller*) sampai penggunaan *nozzle* pada *ducted propeller*. Pengembangan-pengembangan tersebut dilakukan untuk meningkatkan performa propeler, seperti peningkatan gaya dorong (*thrust*), peningkatan efisiensi hingga pengurangan getaran dan *noise* [2]. Secara khusus, penambahan *duct* pada propeler sudah terbukti mampu meningkatkan efisiensi propeler serta mengurangi getaran dan *noise* pada propeler [3]. Modifikasi pada propeler ini bisa diterapkan di kapal penumpang, kapal pengangkut barang hingga kapal selam.

Pada propeler dengan model *ducted propeller*, geometri *duct* menjadi parameter penting yang memengaruhi gaya dorong yang dihasilkan. *Ducted propeller* biasanya digunakan pada kapal dengan desain terbatas yang membutuhkan peningkatan *thrust*, namun ukuran propelernya terbatas atau tidak bisa diperbesar lagi. Salah satu contohnya adalah pada kapal selam tanpa awak (*Unmanned Underwater Vehicle*). Pada UUV, *ducted propeller* tidak hanya digunakan untuk meningkatkan *thrust*, namun juga bertujuan untuk mengurangi getaran sehingga *noise* yang dihasilkan semakin rendah [4].

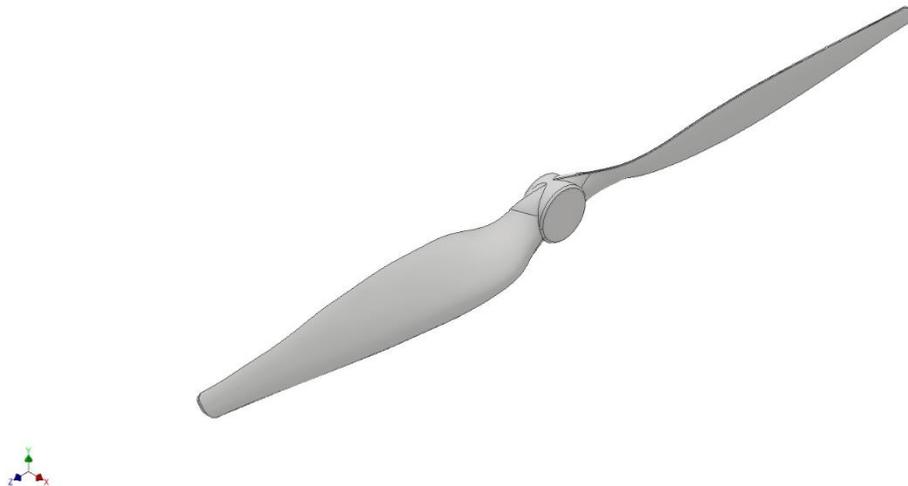
Parameter penting yang sering digunakan dalam mendesain *duct* adalah rasio perbandingan panjang *duct* (*Ld*) dengan diameternya (*D*). Perbedaan rasio *Ld/D* pada *ducted propeller* akan memengaruhi *thrust* yang dihasilkan oleh propeler tersebut. Selain itu, perbedaan geometri *duct* juga akan memengaruhi pola aliran fluida yang ada di sekitar propeler. Arief [5] melakukan simulasi numerik pengaruh *Ld/D* dan *tip clearance* pada berbagai propeler seri K. Dari

penelitiannya didapatkan bahwa performa optimal propeler didapat pada nilai Ld/D 0,5 dengan *tip clearance* 40 mm. Pada penelitian lain oleh Yue dkk, [6] ditemukan bahwa penggunaan *ducted propeller* meningkatkan kecepatan aliran fluida setelah melewati propeler. Peningkatan kecepatan aliran ini meningkatkan nilai *thrust* akibat dari perubahan momentum pada fluida.

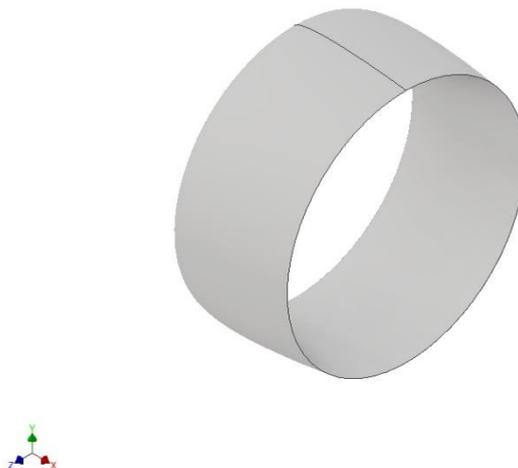
Yilmaz dkk., [7] melakukan eksperimen pengaruh penggunaan *duct* pada pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*) dengan berbagai variasi profil *duct*. Hasil eksperimennya menunjukkan bahwa propeler yang dipasang *duct* memiliki efisiensi propeler yang lebih besar jika dibandingkan dengan propeler tanpa *duct*. propeler yang digunakan pada penelitian tersebut adalah propeler dengan seri APC-16×8E dengan dua bilah. Propeler ini memiliki bentuk yang ringkas sehingga juga cocok digunakan untuk kapal kecil maupun kapal selam jenis UUV, namun diperlukan tambahan *duct* untuk meningkatkan *thrust* yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi numerik pengaruh rasio Ld/D pada *ducted propeller* untuk mengetahui pola aliran dan nilai *thrust* dari propeler APC-16×8E untuk penggunaannya pada kapal.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi numerik menggunakan *software* ANSYS Fluent versi 2020 R2. Model yang digunakan pada penelitian ini adalah propeler dengan seri APC-16×8E dengan dua bilah dan profil *duct* yang digunakan mengikuti model NACA 0012. Pada penelitian ini digunakan dua variasi rasio Ld/D , yakni 0,5 dan 0,6 pada 3 variasi kecepatan putaran propeler 1.000, 3.000, dan 5.000 rpm. Model propeler dan *duct* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

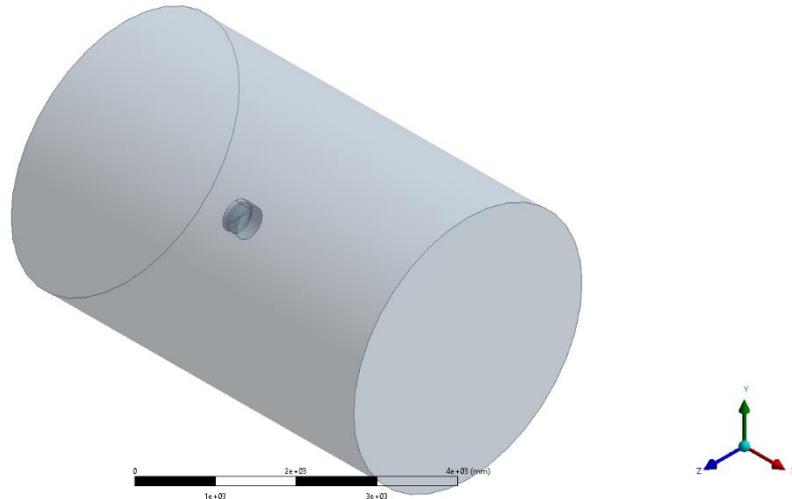


Gambar 1. Propeler APC-16×8E



Gambar 2. Duct NACA 0012

Setelah model berhasil diinput, langkah selanjutnya adalah membuat domain fluida pada *software* ANSYS Fluent. Pada penelitian ini dibuat domain fluida berbentuk silinder dengan ukuran jari-jari sebesar 5R dan panjang silinder 15R. Domain fluida yang digunakan memanjang pada sumbu x dan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Domain fluida penelitian

Proses meshing pada software ANSYS Fluent dilakukan dengan metode automatic dan dipilih mesh dengan bentuk tetrahedral. Bentuk mesh tetrahedral dipilih karena model yang digunakan memiliki bentuk yang rumit, sehingga akan lebih akurat jika didekati dengan bentuk tetrahedral. Pada simulasi ini digunakan model solver k-epsilon dengan residu perhitungan yang diatur pada angka 10^{-4} . Setelah semua kondisi batas dimasukkan, dilakukan komputasi dengan total iterasi sebanyak 2.000 iterasi. Data yang diperoleh kemudian diolah di dalam CFD Post.

Pada CFD Post dapat diketahui distribusi kecepatan, kontur tekanan, vektor kecepatan hingga perhitungan *thrust* yang secara otomatis dilakukan oleh ANSYS Fluent. *Thrust* adalah gaya yang bekerja pada propeler untuk mendorong kapal ke depan. Persamaan untuk menghitung nilai *thrust* diturunkan dari persamaan momentum fluida yang dipindahkan propeler. Secara matematis, *thrust* pada propeler dihitung menggunakan Persamaan 1 berikut ini.

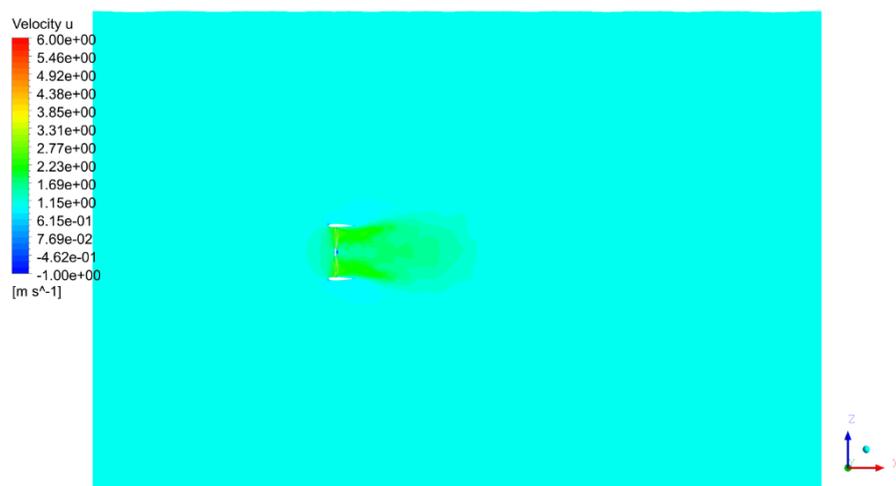
$$F = \tau \times A \quad (1)$$

Dengan F adalah gaya *thrust*, τ adalah torsi dari putaran propeler, dan A adalah luas penampang putaran propeler.

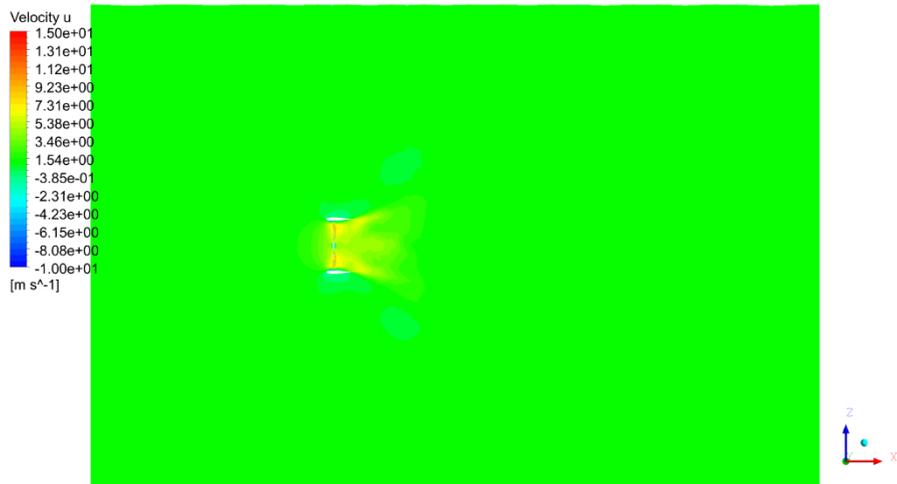
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kontur kecepatan

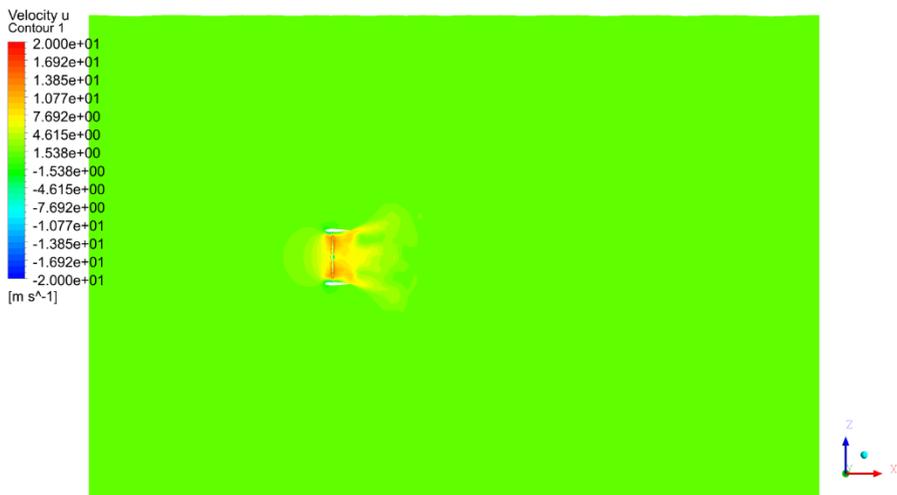
Kontur kecepatan fluida yang berada di sekitar *ducted propeller* menunjukkan adanya peningkatan kecepatan aliran fluida akibat dari putaran propeler. Perubahan kecepatan inilah yang menimbulkan perubahan momentum yang menghasilkan *thrust*. Semakin besar kecepatan fluida di bagian belakang propeler, semakin besar pula *thrust* yang dihasilkan. Hal ini dapat terlihat pada pengujian variasi kecepatan putaran propeler. Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan perbedaan kontur kecepatan pada berbagai variasi putaran propeler.



(a)

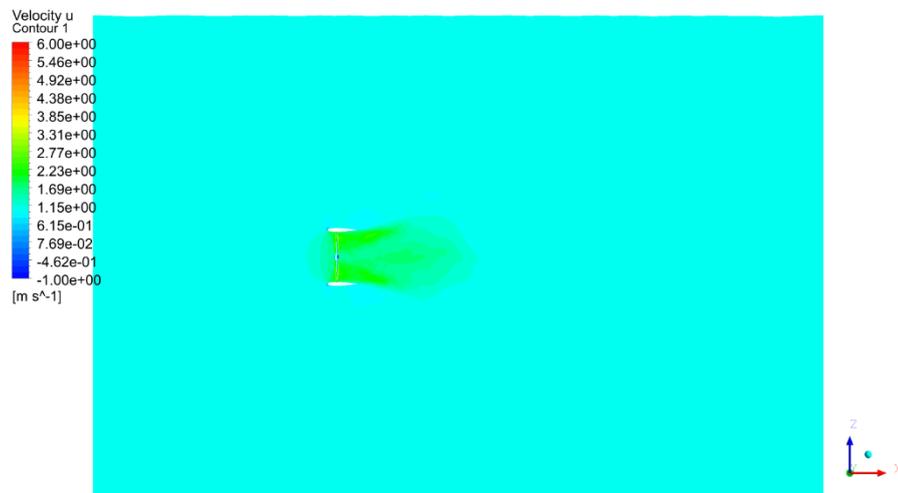


(b)

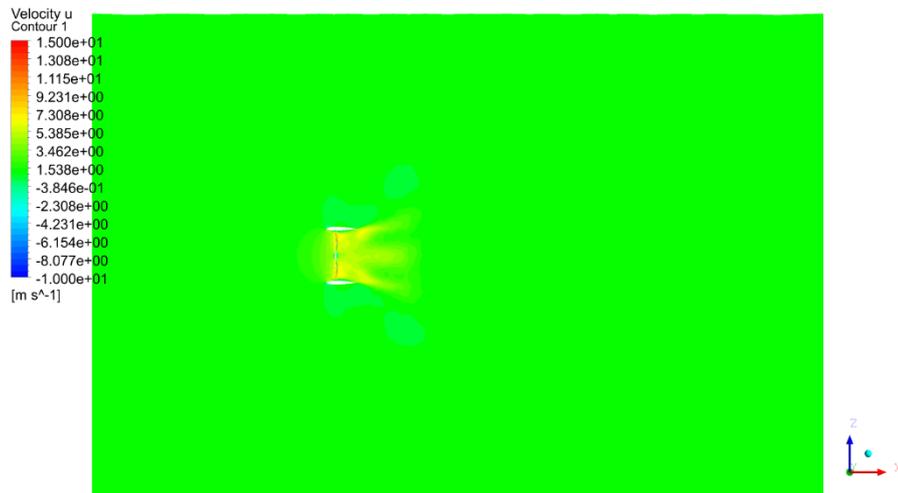


(c)

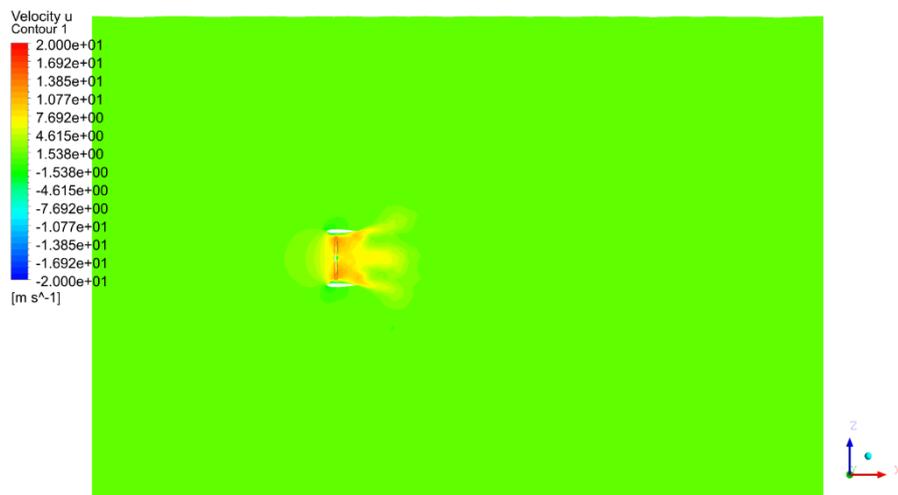
Gambar 4. Kontur kecepatan *ducted propeller* dengan L_d/D 0.5 (a) 1.000 rpm (b) 3.000 rpm (c) 5.000 rpm



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Kontur kecepatan *ducted propeller* dengan L_d/D 0.6 (a) 1.000 rpm (b) 3.000 rpm (c) 5.000 rpm

Peningkatan putaran propeler berhubungan dengan peningkatan torsi yang dimiliki propeler, sehingga gaya yang diberikan kepada fluida juga semakin besar. Dari gambar di atas terlihat bahwa peningkatan kecepatan putaran propeler meningkatkan kecepatan aliran fluida. Pada kecepatan putaran 1.000 rpm, kecepatan fluida yang dihasilkan sebesar 2,77 m/s, sedangkan pada kecepatan putaran 3.000 dan 5.000 rpm kecepatan aliran fluida yang dihasilkan mencapai 7,31 m/s dan xxx m/s untuk duct dengan rasio L_d/D sebesar 0,5. Sedangkan pada duct dengan rasio L_d/D 0,6 diperoleh kecepatan fluida xxx m/s pada kecepatan putaran 1.000 rpm, xxx m/s pada kecepatan putaran 3.000 rpm, dan xxx m/s pada kecepatan putaran 5.000 rpm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran propeler meningkatkan kecepatan aliran fluida yang dihasilkan [8].

Perubahan geometri *duct* juga memengaruhi distribusi kecepatan aliran fluida yang dihasilkan. *Duct* dengan rasio L_d/D 0,6 menghasilkan distribusi kecepatan fluida yang lebih seragam, sehingga *vortex* yang terbentuk lebih jauh jika dibandingkan *duct* dengan rasio L_d/D 0,5. Posisi *vortex* yang lebih jauh ini mengurangi gangguan aliran yang masuk ke propeler. Hal ini pula yang menyebabkan *duct* dengan rasio L_d/D 0,6 memiliki nilai *thrust* yang lebih besar.

B. Gaya dorong (*thrust*)

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis terhadap *thrust* yang mampu dihasilkan. Analisis *thrust* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan geometri *duct*. Dari dua variasi geometri *duct* yang digunakan terlihat bahwa *duct* yang menggunakan rasio L_d/D 0,6 menghasilkan *thrust* yang lebih besar dibandingkan *duct* dengan rasio L_d/D 0,5. Fenomena ini ditemukan pada seluruh variasi kecepatan putaran propeler yang digunakan. Tabel 1 menunjukkan besarnya *thrust* yang dihasilkan pada seluruh variasi yang diuji.

Tabel 1. *Thrust* pada *ducted propeller*

Kecepatan putaran (rpm)	Thrust (N)	
	Ld/D = 0,5	Ld/D = 0,6
1.000	79,01	82,23
3.000	711,50	726,47
5.000	1.848,04	1.904,05

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa peningkatan kecepatan putaran propeler mampu meningkatkan *thrust* yang dihasilkan. Peningkatan *thrust* yang dihasilkan dari jenis *duct* yang berbeda baru akan terlihat signifikan pada kecepatan putaran propeler yang tinggi (≥ 4.000 rpm) [9]. Fenomena tersebut juga muncul pada penelitian ini ketika kecepatan putaran propeler diatur pada angka 3.000 dan 5.000 rpm. *Duct* dengan rasio Ld/D 0,6 mampu menghasilkan *thrust* yang lebih besar karena memiliki sisi outlet yang lebih panjang. Kondisi tersebut menghambat terbentuknya *vortex* yang menimbulkan *drag*, sehingga *thrust* yang dihasilkan menjadi lebih besar. Sihaloho [10] juga menemukan bahwa semakin panjang sisi outlet *duct* pada *ducted propeller* akan meningkatkan nilai *thrust* yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi numerik pada *ducted propeller* ditemukan bahwa peningkatan kecepatan putaran propeler meningkatkan kecepatan aliran fluida yang dihasilkan di belakang propeler. Fenomena tersebut muncul pada dua variasi rasio Ld/D yang digunakan dalam pengujian ini. Perbedaan geometri duct memengaruhi distribusi kecepatan aliran fluida yang dihasilkan di belakang propeler dan *duct* dengan rasio Ld/D 0,6 menghasilkan distribusi kecepatan yang lebih seragam. Panjang sisi outlet yang lebih besar membuat *duct* dengan rasio Ld/D 0,6 juga memiliki nilai *thrust* yang lebih besar. Pada pengujian ini didapatkan nilai *thrust* tertinggi pada duct dengan rasio Ld/D 0,6 dan kecepatan putaran propeler 5.000 rpm, yakni sebesar 1.904,05 N.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf dan rekan-rekan di Laboratorium Mekanika Fluida Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada yang sudah memberikan bantuan selama pengambilan data dan juga menjadi teman diskusi sehingga tulisan ini menjadi jauh lebih baik.

REFERENSI

- [1] Oki Pratama, "Konservasi Perairan Sebagai Upaya menjaga Potensi Kelautan dan Perikanan Indonesia," 2020. <https://kkp.go.id/djprl/artikel/21045-konservasi-perairan-sebagai-upaya-menjaga-potensi-kelautan-dan-perikanan-indonesia> (accessed May 05, 2023).
- [2] F. Ortolani, A. Capone, G. Dubbioso, F. Alves Pereira, A. Maiocchi, and F. Di Felice, "Propeller performance on a model ship in straight and steady drift motions from single blade loads and flow field measurements," *Ocean Engineering*, vol. 197, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106881.
- [3] Y. C. Hsieh and D. M. Hai, "Computational study on the effect of the shape of ducts on the performance of the submarine propeller," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 11, no. 8, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1177/1687814019870902.
- [4] M. Chen, J. Liu, Q. Si, Y. Liang, Z. Jin, and J. Yuan, "Investigation into the Hydrodynamic Noise Characteristics of Electric Ducted Propeller," *J Mar Sci Eng*, vol. 10, no. 3, Mar. 2022, doi: 10.3390/jmse10030378.
- [5] I. S. Arief, T. B. Musriyadi, and A. D. A. Je Mafera, "Analysis Effect of Duct Length– Nozzle Diameter Ratio and Tip Clearance Variation on the Performance of K-Series Propeller," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 2, no. 1, 2017, doi: 10.12962/j25481479.v2i1.2527.
- [6] W. Yue, R. Wanlong, L. Gang, Z. Yuanming, and H. Zongrui, "The Numerical Analysis of Hydrodynamic Characteristics of Ducted Propeller by using SST k- ω Model," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 649, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/649/1/012025.
- [7] S. Yilmaz, D. Erdem, and M. S. Kavsaoglu, "Performance of a ducted propeller designed for UAV applications at zero angle of attack flight: An experimental study," *Aerosp Sci Technol*, vol. 45, pp. 376–386, 2015, doi: 10.1016/j.ast.2015.06.005.
- [8] B. Nopias, K. Muhajir, and T. Rusianto, "Pengaruh Gaya Dorong Propeler pada Engine Fora Terhadap Kecepatan Pesawat Model F2D Combat," 2017. [Online]. Available: <http://dle-tech.info/tag/pitch/>
- [9] E. Kuantama and R. Tarca, "Quadcopter thrust optimization with ducted-propeller," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Oct. 2017. doi: 10.1051/mateconf/201712601002.
- [10] F. Sihaloho, P. Manik, A. Wibawa Budi Santosa, and L. Perancangan Kapal Dibantu Komputer, "Analisa Nilai Thrust Ducted Propeller Dengan Variasi Diameter, Panjang & Tipe Kort Nozzle Menggunakan Metode CFD," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 3, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>