PENINGKATAN UNJUK KERJA SEAPLANE PADA SAAT TAKE OFF

M. Igo I. 1*, Dr. Eng. M. Anis Mustaghfirin, ST., MT. 2, Niki Veranda Agil P. S. Tr. T., M. Sc. Eng³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: igo.irham@student.ppns.ac.id 1*; mustaghfirin@ppns.ac.id 2*; niki.veranda@ppns.ac.id 3*

Abstract - A seaplane is a type of aircraft designed to operate both on water and on land. Similar to conventional airplanes, seaplanes undergo several processes before taking off, with takeoff being a critical moment influenced by various factors such as speed, runway length, center of gravity, and the aircraft's lift capability. Since a seaplane uses water as its runway, this study investigates the addition of fins to the underside of the seaplane to potentially enhance its lift during takeoff on water and to observe the effects of adding a 100 kg engine on lift performance. The study utilizes Computational Fluid Dynamics (CFD) software with the Volume of Fluid (VOF) method, modeling two phases: water and air. Three models are analyzed: a seaplane with wings, a seaplane with wings and fins, and a seaplane with wings, fins, and an added 100 kg load. The simulation results indicate that the seaplane with the added fin has a significantly improved lift force compared to the seaplane without the fin, with an increase of 276% when in the water. Additionally, as the fin is submerged deeper into the water, the lift force generated also increases.

Keyword: CFD (Computational Fluid Dynamics), Lift Force, Seaplane, Takeoff, VOF (Volume of Fluid)

1. PENDAHULUAN

Seaplane atau sering disebut sebagai hidroplane, adalah jenis pesawat terbang yang dirancang untuk lepas landas dan mendarat di permukaan air, seperti danau, sungai, atau laut. Seaplane memiliki kemampuan untuk beroperasi baik di udara maupun di air, dan ini membuatnya dapat mengakses area yang sulit dijangkau oleh pesawat konvensional. Sebagai layaknya pesawat, seaplane juga melalui beberapa proses untuk dapat terbang di udara, salah satu proses tersebut adalah take off. Take off dan landing adalah proses utamadari sebuah pesawat, metode perhitungan kinerja take off sangat penting untuk dipelajari sebagai keseluruhan desain dan faktor keselamatan penerbangan pesawat [1].

Perairan menjadi landasan pacu sebuah seaplane untuk melakukan take off, oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisa untuk meningkatkan efisiensi unjuk kerja seaplane pada saat take off, salah satunya adalah dengan menambahkan bagian pada bawah badan pesawat yang disebut dengan fin. Pada umumnya fin telah diaplikasikan pada beberapa jenis pesawat dan terletak pada bagian belakang ekor pesawat, akan tetapi pada penelitian ini fin yang dimaksud terletak dibagian bawah badan pesawat yang diharapkan dapat membantu pesawat saat

melakukan proses take off.

Melakukan penambahan fin pada bagian bawah badan pesawat tentunya harus memperhitungkan faktor yang lainnya, salah satunya adalah nilai aerodinamika yang terjadi pada seluruh bagian pesawat. Aerodinamika adalah suatu perubahan gerak dari suatu benda akibat dari hambatan udara ketika benda tersebut melaju dengan kencang. Terdapat faktor lain yang mempengaruhi kemampuan seaplane dalam melakukan take off, faktor tersebut adalah center of gravity atau titik berat.

Center of gravity adalah titik tumpu dalam suatu objek di mana berat total terkonsentrasi dalam titik tumpu tersebut yang berfungsi juga sebagai penyeimbang objek. Dalam mendesain pesawat center of gravity harus terletak dalam suatu batasan tertentu untuk keselamatan penerbangan, karena center of gravity adalah titik yang diasumsikan sebagai pusat konsentrasi dari berat total pesawat yang harus dijaga agar pesawat dapat seimbang baik dalam sumbu lateral maupun longitudinal [2]. Pada penelitian seaplane ini wujud dari center of gravity yang akan disimulasikan adalah mesin pesawat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 1 Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Governing Equation

Penelitian ini menggunakan pemodelan 2 fasa dengan aliran fluida *incompressible* karena densitas fluida dianggap konstan sepanjang aliran. Artinya, perubahan tekanan tidak menyebabkan perubahan signifikan dalam densitas fluida. Maka aliran yang berada di sekitar *seaplane* dijelaskan menggunakan persamaan *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS) dengan model turbulensi. Bentuk rata-rata *Reynolds* dari persamaan konservasi massa dan persamaan konservasi momentum dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Persamaan konservasi massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{3.1}$$

di mana:

 ρ = densitas fluida (kg/m³)

t = waktu(s)

 u_I = komponen kecepatan dalam arah i (m/s)

 $x_i = \text{koordinat kartesian dalam arah } i \text{ (m)}$

2. Persamaan konservasi momentum

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j}) + \rho f i$$
(3.2)

di mana:

p = tekanan (Pa)

μ = koefisien viskositas dinamis (Pa·s)

 f_i = komponen gaya eksternal dalam arah i (N)

Model turbulensi *k-ω Shear Stress Transport* (SST) digunakan untuk menutup persamaan dalam simulasi aliran turbulen. Secara

konkret, persamaan konversi untuk k dan ω dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_i}) + Gk - \Upsilon k$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\Gamma_k \frac{\partial \omega}{\partial x_i}) + G\omega - \Upsilon \omega$$

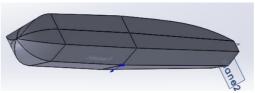
di mana G_k dan G_ω mewakili komponen generasi energi kinetik turbulensi, dan Y_k serta Y_ω mewakili laju disipasi turbulensi dari k dan ω , masing-masing.

3.2 Model Tiap Bagian Seaplane (hull, wing dan fin)

Tahapan awal pada penelitian ini adalah pemodelan seluruh bagian *seaplane* yang terdiri dari *hull* (badan/lambung), *wing*, serta *fin*. Pemodelan ini menggunakan *sofware solidworks*, hasil pemodelan bagian *seaplane* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Model Hull Menggunakan Fridsmahull



Gambar 3. Model Keseluruhan Badan Seaplane

Panjang : 2,9 m Lebar : 0.26 m Tinggi : 1,5 meter



Gambar 4. Model wing DLR-F6

Model sayap yang digunakan pada penelitian tersebut menggunakan model *DLR F6. DLR-F6* merupakan salah satu jenis *wing* yang digunakan untuk database penelitian sayappesawat terbang yang berasal *dari Second AIAA Drag Precision Workshop.* Model yang diambil disesuaikan

dengan dimensi yang ada pada penelitian yaitu sebesar 1.8 m.



Gambar 5. Model fin DLR-F6

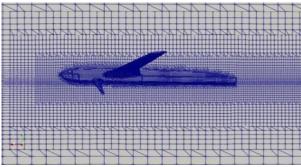
Pada tahap variasi ini model body dan wing ditambahkan sebuah bagian yang dinamakan fin atau sirip. Bagian ini diharapkan mampu memberikan nilai lift force yang optimal untuk membantu seaplane pada saat takeoff di perairan. Profil daripada fin mengadopsi profil dari wing yaitu DLR-F6, akan tetapi dilakukan perubahan pada ukuran di mana panjang fin 75 % lebih kecil daripada panjang wing 1.78 m, yang berarti bahwa panjang fin sebesar 0.44 m. Fin ditempatkan dibawah waterline 0.069 m agar fin dapat dipastikan tercelup sepenuhnya terhadap perairan.

3.3 Meshing

Meshing merupakan salah satu tahap yang penting dalam simulasi numerik, terutama pada analisis CFD dikarenakan tahapan meshing merupakan tahapan generate suatu permukaan yang nantinya akan dibaca oleh sistem sebagai suatu model. Meshing pada penelitian ini menggunakan software SALOME dan dilakukan konfigurasi mesh pada bagian 2D yang menggunakan algorithm NETGEN 2D dengan hypothesis max. element area. Serta pada bagian 1D algorithm menggunakan wire discretisation dengan hypothesis local length. Untuk memenuhi mesh pada bagian terkecil, perlu dilakukan adjusment nilai pada bagian 2Dmax.element area serta 1D local length. Kemudian setelah didapat mesh padaSALOME dengan hasil mesh surface, dilanjutkan mesh volume dengan mesh ulang pada software OpenFOAM.

Tabel 3.1 Setelan mesing salome

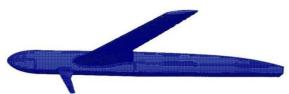
Bagian	2D Algorithm	2D Hypothesis	ID Algorithm	1D Hypothesis	Mesh Type
Body	Netgen 2D	Max Area : 0.00065	Wire Disc	Local Length 1: 0.008	Any
Wing	Netgen 2D	Max Area : 0.0004	Wire Disc	Local Length 2 : 0.007	Any
Fin	Netgen 2D	Max Area : 0.0002	Wire Disc	Local Length 3 : 0.003	Any



Gambar 6. Hasil Meshing SnappyHex.Mesh

3.4 Layer Addition

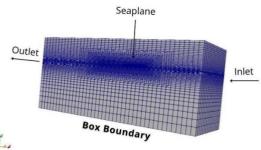
Layer addition berfungsi sebagai menambah lapisan boundary layer padajaringan mesh yang dibuat untuk simulasi aliran fluida. Boundary layer adalah area di sepanjang permukaan geometri yang terdapat perubahan signifikan dalam aliran fluida terjadi.



Gambar 7. Model Akhir setelah ditambahkan layer

3.5 Boundary Condition

Boundary conditions adalah spesifikasi yang diperlukan pada batas wilayah domain dalam suatu masalah matematis atau fisik, seperti dalam simulasi aliran fluida menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Kondisi batas menetapkan nilai-nilai atau perilaku yang diharapkan pada batas-batas domain untuk memungkinkan penyelesaian persamaan diferensial yang menggambarkan fenomena fisik.



Gambar 8. Boundary Condition

Tabel 3.2 Setelan Boundary Condition

boundary name	Туре	Boundary condition
Box Boundary	Wall	noSlip
Model Seaplane	Wall	noSlip
Inlet	Patch	velocity inlet(fixed value)
Outlet	Patch	pressure outlet(fixed value)

3.6 Solver

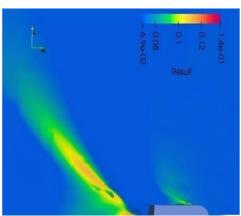
Tahapan solver merupakan tahapan terakhir dari proses simulasi, pada tahapan ini menggunakan solver interFoam. Simulasi ini di kontrol dengan menggunakan pengaturan yang terdapat pada *controlDict*, untuk pengaturannya dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Pengaturan controlDict

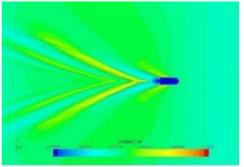
Application	interFoam
Start from	latestTime
Start time	0
Stop at	EndTime
End time	10000
Delta T	I
Write Control	TimeStep
Write Interval	50
Purge Write	0
Write Format	Binary
Write Precision	6
Write Compression	Off
Time Format	General
Time Precision	6
Run Time Modifiable	True
Adjust TimeStep	Yes

3.7 Validasi

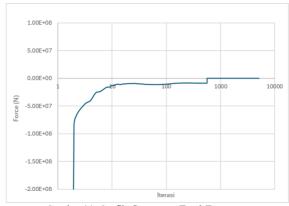
Validasi simulasi ini dilakukan dengan acuan penelitian tentang *FridsmaHull* (Ferdi., 2016), hasil dari simulasi ini terlihat apabila sudah mencapai kondisi *convergence*. Dari *post processing* nantinya akan diketauhi nilai *Rt/Displacement* yang didapat dari perhitungan total *force*. Pada Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan perbandingan gelombang antara penelitian sekarang dengan jurnal yang ditulis oleh (Ferdi, 2016). Serta grafik *convergence* dari rata-rata *force* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 9. Hasil Wave Penelitian Sekarang



Gambar 10. Hasil Wave Berdasarkan Paper



Gambar 11. Grafik Convergen Total Force

Berdasarkan hasil simulasi, rata-rata *force / resistance* dapat dimasukkankedalam perhitungan 3.3 dan 3.4 di bawah ini

$$\frac{Rt \times 2}{(\Delta \times g)} \tag{3.3}$$

Di mana,

Rt: 7.88E+05

× 2: simulasi dilakukan dengan setengah model

 Δ : 14.029

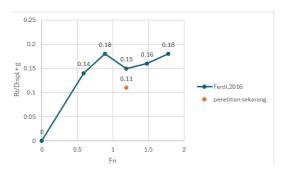
g: 9.8 m/s2

Maka,

$$\frac{7.88 \times 2}{(14.029 \times 9.8)} \tag{3.4}$$

= 0.11

Perhitungan tersebut perlu dilakukan karena pada penelitian yang dilakukan (Ferdi., 2016) nilai *resistance* dinormalkan terhadap (Δ ×g), maka penelitian ini juga perlu dinormalkan agar mendapat bentuk non-dimensional dan akan dijadikan sebagai validasi. Pada penelitian ini *froud number* (Fn) menggunakan 1.19 sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Ferdi.,2016) menggunakan beberapa *froud number* yaitu 0.59, 0.89, 1.19, 1.48, 1,78.Hal tersebut menghasilkan total *resistance* yang berbeda beda dan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Perbandingan Total Resistance

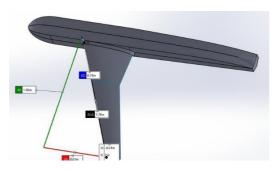
Dikarenakan pada penelitian ini menggunakan satu nilai *froud number* yaitu 1.19, sehingga pada penelitian yang dilakukan (Ferdi.,2016) akan diambil satu nilai *froudnumber* yaitu 1.19 yang menghasilkan Rt/Displacemnet sebesar 0.15 maka perbandingan dan persentase *error* dapat dilihat pada Tabel 3.4. berikut.

Tabel 3.4 Tabel Hasil Persentase Error

Penelitian	Froude number	Rt/Displacement	Persentase Error
(Ferdi.,2016)	1.19	0.15	-
Penelitian Sekarang	1.19	0.11	26%

3.8 Variasi Model Body dan Wing

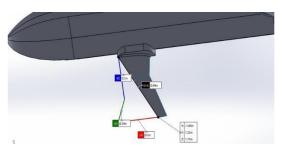
Mengacu pada penelitian yang dilakukan Yang Guo, 2021 model yang seaplane terbagi menjadi 2 bagian yaitu hull dan wing, pada bagian hull menggunakan jenis fridsmahull yang mana model tersebut sama dengan model validasi, tetapi pada variasi pertama ini dilakukan perubahan dimensi yang sesuai dengan penelitian Yang Guo, 2021 yaitu total panjang body pesawat adalah 2.9 m serta penambahan bagian atas agar menyerupai bentuk seaplane pada umumnya. Pada bagian wing, penelitian yang dilakukan Yang Guo, 2021 menggunakan wing berjenis DLR-F6 dengan total wingspan 3.6 m yang berarti bahwa tiap wing memiliki panjang sekitar 1.8 m. Model body dan wing yang telah disesuaikan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Model Body dan Wing

3.9 Variasi Model Body, Wing dan Fin

Pada tahap variasi ini model body dan wing ditambahkan sebuah bagian yang dinamakan fin atau sirip. Bagian ini diharapkan mampu memberikan nilai lift force yang optimal untuk membantu seaplane pada saat takeoff di perairan. Profil daripada fin mengadopsi profil dari wing yaitu DLR-F6, akan tetapi dilakukan perubahan pada ukuran dimana panjang fin 75 % lebih kecil daripada panjang wing 1.78 m, yang berarti bahwa panjang fin sebesar 0.44 m. Fin ditempatkan dibawah waterline 0.069 m agar fin dapat dipastikan tercelup sepenuhnya terhadap perairan. Skema gambar fin dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Skema dan dimensi Fin

3.10 Hasil Perhitungan Nilai *Drag Force* dan *Lift Force* Setiap Variasi

Perhitungan nilai force dan lift dilakukan pada setiap bagian seaplane yaitu body,wing, dan fin lalu ditambah untuk mengetauhi total nilai force dan lift pada setiap variasi. Hal tersebut dilakukan karena tiap bagian pada seaplane melalui gerakan fluida yang berbeda yaitu aerodynamic dan hydrodynamic. Perbandingan nilai drag dan lift dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan 3.6 di bawah ini.

Tabel 3.5 Hasil Drag dan Lift Model Body dan Wing

Variasi	Drag (N)	Lift (N)
Body	53.049	92.402
Wing	1.080	0.230
Total	54.130	92.632

Tabel 3.6 Hasil Drag dan Lift Model Body, Wing dan Fin

Variasi	Drag (N)	Lift (N)
Body	53.049	92.402
Wing	1.080	0.230
Total	54.130	92.632

Dari ketiga Tabel tersebut dapat kita amati bahwa fin terbutki mampu meningkatkan daya angkat yang cukup signifikan daripada model yang belum ditambahkan fin dengan peningkatan sebesar 276% yang didapat dari variasi 1 dengan total lift 92.632 N dan variasi 2 yang telah ditambahkan fin dengan total lift 348.298. Dari simulasi ini dapat diamati bahwa setiap bagian seaplane memiliki peranan yang penting terhadap nilai drag force dan lift force. Faktor hydrodinamic menjadi factor yang dominan dalam proses terjadinya suatu lift force atau daya angkat, bagian dari seaplane yaitu body dan fin memiliki nilai lift force yang cukup tinggi begitu juga dengan nilai drag force, sehingga body dan fin memiliki peran penting dalam unjuk kerja seaplane pada saat take off di perairan.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa bagian *fin* terbukti memiliki nilai *lift force* yang tinggi sehingga, dapat disimpulkan bahwa *fin* dapat meningkatkan unjuk kerja *seaplane* pada saat *take off* di perairan.
- 2. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa bagian *fin* dapat meningkatkan nilai *drag force* terhadap badan *seaplane* saat *take off* di perairan.

4.1 Saran

Pada penelitian ini menggunakan simulasi steady steate (satu arah) untuk memudahkan penelitian sehingga penelitian ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan kondisi yang sebenarnya. Sehingga penelitian kedepan diharapkan dapat dilakukan sesuai kondisi pada umumnya melakukan simulasi CFD pada sebuah seaplane.

5. Daftar Pustaka

Akkerman, I., Dunaway, J., Kvandal, J., Spinks, J., & Bazilevs, Y. (2012). Toward free- surface modeling of planing vessels: simulation of the Fridsma hull using ALE-VMS. *Computational Mechanics*, *50*, pp. 719-727.

Ardiansyah, R., & Wirawan, N. (2016). perhitungan letak dan pergeseran pusat gravitasi pesawat lsu-03ng untuk menentukan posisi beban dan pemberat. In *Prosiding SIPTEKGAN XX-2016, Seminar Nasional Iptek Penerbangan dan Antariksa XX Tahun 2016* (pp. 42-56).

Avicenna, H., & Utama, I. I. K. (2016). Analisa Pengaruh Konfigurasi Skeg Terhadap Hambatan dan Gerak Kapal Dengan Metode Computational Fluid Dynamics.

Guo, Y., Ma, D., Yang, M., & Liu, X. A. (2021). Numerical Analysis of the Take-Off Performance of a Seaplane in Calm Water. *Applied Sciences*, vol. 11, No. 14, 6442.

Kurniawan, F. H. (2021). Determination Of Weight And Balance On The Boeing 737-800 NG And Airbus A320. *Vortex*, 2(2), 119-128

Levy, D., Laflin, K., Vassberg, J., Tinoco, E., Mani, M., Rider, B., & Murayama, M. (2013, May). Summary of data from the fifth AIAA CFD drag prediction workshop. In 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition (p. 46).

Purwanto, D., Hantoro, R., & Utama, I. (2010). Kajian Perbaikan Performansi Pada Hydrofoil Kapal Cepat Dengan Penambahan Sirip Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Surabaya (ID): ITS Library.

Sukas, O. F., Cakici, F., & Gokce, M. K. (2014). Numerical Simulation of Fridsma Hull Using Overset Grid System. In 19th "Numerical Towing Tank Symposium" (Nutts' 16).

Vassberg, J., Sclafani, A., & DeHaan, M. (2005, June). A wing-body fairing design for the DLR-F6 model: a DPW-III case study. In 23rd AIAA Applied Aerodynamics Conference (p. 4730).Xu, Y., Sun, P. N.,

Huang, X. T., Marrone, S., & Geng, L. M. (2023). Numerical study of the splashing wave induced by a seaplane using meshbased and particle-based methods. *arXiv* preprint arXiv:2306.12149.

Zheng, X., Quan, S., Wu, B., & Han, X. (2021, September). Numerical Simulation of SeaplaneWater Takeoff Process Based on CFD. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2030, No. 1, p. 012103). IOP Publishing.

Xu, Y., Sun, P. N., Huang, X. T., Marrone, S., & Geng, L. M. (2023). Numerical study of thesplashing wave induced by a seaplane using mesh-based and particle-based methods. *arXiv* preprint arXiv:2306.12149.