

STUDI NUMERIK PERFORMA HIDRODINAMIKA *PONTOON* PESAWAT TERBANG AMFIBI BERKAPASITAS 17 PENUMPANG

*Zakaria Rahmanu¹, Eflita Yohana², Mohammad Tauviqirrahman²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang, Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: zakariarahmanu@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan 17.504 pulau dan 77% wilayahnya berupa lautan. Konektivitas antar pulau di Indonesia sangat penting untuk meningkatkan aksesibilitas demi berkembangnya kegiatan pariwisata, edukasi, serta kesehatan. Pesawat menjadi moda transportasi paling efisien dalam hal waktu untuk konektivitas ribuan pulau di Indonesia. Namun, infrastruktur di Indonesia masih belum merata dengan keberadaan landasan pacu yang menjadi kendala bagi pesawat. Pesawat amfibi dapat menjadi solusi untuk meningkatkan konektivitas di wilayah kepulauan Indonesia karena kemampuannya yang dapat lepas landas dan mendarat di darat maupun permukaan air. Untuk dapat mengapung di permukaan air, terdapat *pontoon* pada pesawat amfibi. *Pontoon* pada pesawat amfibi sangat krusial karena kompleksitas aliran yang ditimbulkan ketika bergerak di permukaan air. Analisis dengan komputasi dinamika fluida digunakan untuk menganalisis karakteristik *pontoon* yang berupa resistansi dan pola aliran. Massa total pesawat amfibi divariasikan untuk dianalisis pengaruhnya terhadap resistansi dan pola aliran yang terjadi. Semakin berat massa total pesawat amfibi, maka kedalaman tenggelam (*draught*) dari *pontoon* akan semakin dalam. Hal ini mengakibatkan permukaan sentuh antara dinding *pontoon* dengan air semakin luas dan resistansi semakin besar.

Kata kunci : massa; pola aliran; *pontoon*; resistansi

Abstract

Indonesia is the largest archipelagic country in the world with 17.504 islands and 77% of its territory is ocean. Connectivity between islands in Indonesia is very important to increase accessibility for the development of tourism, education and health activities. Airplanes are the most efficient mode of transportation in terms of time for connectivity to thousands of islands in Indonesia. However, infrastructure in Indonesia is still uneven with the existence of runways being an obstacle for aircraft. Seaplanes can be a solution to increase connectivity in the Indonesian archipelago because of their ability to take off and land on land or air. To be able to float on the surface of the air, there are pontoons on seaplanes. Pontoons on seaplanes are very crucial because of the complexity of the flow created when moving on the surface of the air. Analysis using computational fluid dynamics is used to analyze the characteristics of the pontoon in the form of resistance and flow patterns. The total mass of the seaplane is varied to explain its effect on the resistance and flow patterns that occur. The heavier the total mass of the seaplane, the deeper the pontoon will sink. This causes the contact surface between the pontoon wall and the water to become wider and the resistance to become greater.

Keywords : flow pattern; mass; *pontoon*; resistance

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan lautan luas yang terbentang di dalamnya [1]. Menurut Kementerian Koordinator Bidang Kematriman dan Investasi, Indonesia memiliki 17.504 pulau dengan 77% wilayahnya berupa lautan [2]. Berdasarkan kondisi geografis ini, lautan memiliki peran sekaligus menjadi tantangan dalam menghubungkan pulau-pulau yang ada di Indonesia. Konektivitas antar pulau di Indonesia sangat penting untuk meningkatkan aksesibilitas sehingga kegiatan pariwisata, edukasi, dan kesehatan dapat berkembang [3]. Selain itu, konektivitas antar pulau ini juga berperan dalam situasi darurat seperti bencana alam. Wilayah perairan atau lautan di Indonesia menjadi sarana transportasi dan komunikasi antar pulau [1]. Oleh karena kondisi yang demikian, keberadaan

moda transportasi yang cepat untuk menghubungkan pulau-pulau kecil dan pulau-pulau terluar di perbatasan Indonesia perlu dikembangkan.

Transportasi udara sangat relevan untuk menjangkau wilayah pulau terpencil. Pesawat terbang merupakan moda transportasi paling efisien dalam hal waktu tempuh untuk menghubungkan ribuan pulau di kepulauan Indonesia. Namun sayangnya, pembangunan infrastruktur di Indonesia masih belum merata. Masih terdapat pulau-pulau kecil dengan infrastruktur yang kurang, terutama dalam hal aksesibilitas [4]. Keberadaan landasan pacu untuk lepas landas dan mendarat menjadi kendala dalam penggunaan pesawat terbang karena tidak semua pulau di Indonesia memilikinya. Pembangunan landasan pacu untuk pesawat terbang di banyak pulau perlu investasi yang sangat besar dan tentunya akan memakan waktu yang sangat Panjang.

Keberadaan pesawat amfibi dapat memainkan peran penting dalam hal ini meskipun pengembangan teknisnya sudah stagnan selama hampir setengah abad [5]. Desain pesawat amfibi merupakan seni dalam pertukaran antara aerodinamika dan hidrodinamika dengan tujuan akhir untuk mencapai kinerja hidrodinamika yang diinginkan dengan seminimal mungkin hilangnya keuntungan aerodinamis [5]. Salah satu komponen pesawat terbang amfibi yang perlu dipertimbangkan aspek hidrodinamika dan aerodinamika ialah *pontoon*. *Pontoon* merupakan rongga udara yang berada di bagian paling kaki pesawat amfibi sehingga pesawat amfibi dapat mengapung di permukaan air. Evaluasi performa hidrodinamika *pontoon* merupakan pekerjaan penuh tantangan karena gangguan aliran gelombang yang rumit [5]. Desain dari *pontoon* memiliki total resistansi yang terdiri atas resistansi viskos yang bergantung pada bilangan Reynolds dan resistansi gelombang yang bergantung pada bilangan Froude [6]. Angka resistansi dari *pontoon* merupakan salah satu parameter performa hidrodinamika dari *pontoon*.

Karakteristik *pontoon* dapat dianalisis dengan tiga metode, yaitu metode eksperimen, empiris, dan numerik [5]. Pengujian eksperimen dinilai terlalu mahal dan memakan waktu cukup lama jika diimplementasikan untuk proses desain preliminar atau optimasi. Selain itu, batasan dalam skala model menjadi sebuah dilema, terlebih dengan ketidakmampuan model memperoleh keserupaan dalam bilangan Froude dan Reynolds. Metode empiris lebih efisien untuk proses desain preliminar, tetapi beberapa metode empiris tidak dapat digunakan pada beberapa geometri *pontoon* [7]. Saat ini, metode komputasi dinamika fluida menjadi salah satu metode yang lebih mudah dilakukan. Investigasi detail dari komputasi dinamika fluida dapat menjadi pendukung dalam analisis performa hidrodinamika *pontoon* pesawat amfibi [5].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini berupa analisis performa hidrodinamika dari sepasang *pontoon* yang melaju di permukaan air. Analisis dilakukan secara numerik dengan komputasi dinamika fluida, yang mana terdiri dari tiga proses utama, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. *Pre-processing* merupakan proses dimana geometri diinput atau dibuat, elemen *mesh* tergenerasi, dan pemilihan pengaturan yang digunakan. Pada *processing*, komputer akan melakukan iterasi kalkulasi hingga kriteria konvergensi tercapai. Terakhir, *post-processing*, diperoleh data berupa visualisasi gambar atau pun angka numerik yang dapat dibentuk menjadi tabel ataupun grafik. Simulasi numerik dilakukan dengan skala model 1:10. Ketidakterupaan antara model dengan prototipe menjadikan proses skala perlu trik khusus.

2.1 Persamaan Pembangun

Komputasi dinamika fluida merupakan proses kalkulasi secara numerik dengan melibatkan sejumlah elemen tertentu. Setiap elemen merupakan suatu volume kontrol yang diatur oleh beberapa persamaan pembangun. Beberapa persamaan tersebut antara lain.

2.1.1 Persamaan Konservasi Massa

Prinsip kekekalan massa menyatakan bahwa laju perubahan massa dalam suatu elemen fluida sama dengan total laju aliran massa ke dalam elemen fluida. Persamaan ini digunakan menghitung laju aliran massa yang melalui elemen fluida, direpresentasikan sebagai massa jenis, luas permukaan laluan, dan komponen kecepatan normal terhadap penampangannya. Persamaan konservasi massa dituliskan dalam Persamaan 1 berikut.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

2.1.2 Persamaan Momentum

Laju perubahan momentum dalam suatu partikel fluida dijelaskan dengan Hukum II Newton. Laju perubahan momentum pada suatu elemen fluida sama dengan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada elemen fluida tersebut. Berikut merupakan persamaan momentum untuk ketiga arah sumbu koordinat, Persamaan 2a, 2b, dan 2c secara berturut-turut untuk sumbu x, y, dan z.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (2a)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (2b)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial (-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (2c)$$

2.1.3 Model Multifasa

Metode *volume of fluid* (VOF) digunakan untuk merekam interaksi antara fluida cair dengan fluida gas dengan menggunakan fraksi volume α pada setiap sel elemen [5]. Fraksi volume didefinisikan sebagai rasio volume yang menempati suatu elemen sel volume kontrol berdasarkan fasanya. Pada kasus ini, terdapat dua fasa fluida, yaitu gas untuk udara dan cair untuk air laut. Fraksi volume pada model *volume of fluid* dituliskan pada Persamaan 3.

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \text{div}(\alpha \vec{V}) = 0 \quad (3a)$$

$$\alpha_{sw} + \alpha_a = 1 \quad (3b)$$

2.1.4 Model Turbulensi

Model turbulensi yang digunakan pada penelitian ini ialah *Reynolds Averaged Navier-Stokes k - ω SST*. Pemilihan model turbulensi ini karena model tersebut tampak lebih stabil secara numerik dibandingkan dengan model *k - ϵ* , khususnya pada lapisan *sublayer* viskos dekat dengan dinding [8]. Persamaan model turbulensi dituliskan pada Persamaan 4 berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k \quad (4a)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \omega u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega \quad (4b)$$

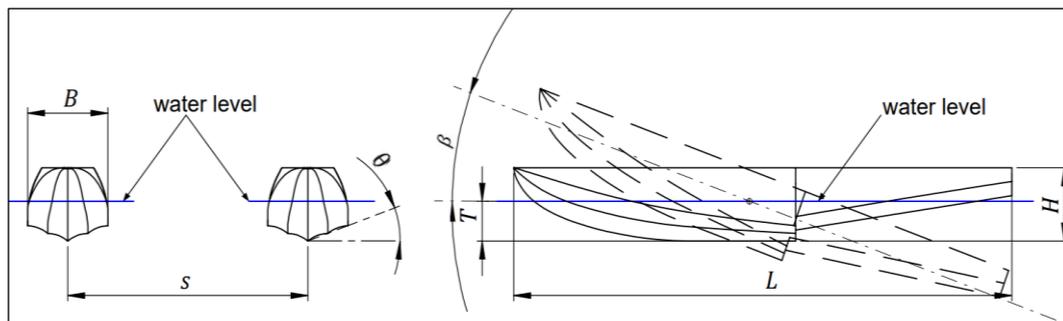
2.2 Geometri dan Mesh

Ukuran utama dari *pontoon* dapat dilihat pada Tabel 1, dimana ukuran utama tersebut tergambarakan pula pada Gambar 1. Nilai *draught* pada simulasi numerik ini divariasikan berdasarkan massa total pesawat amfibi. Perhitungan nilai *draught* ini didasarkan pada Prinsip Archimedes sebagaimana yang tercantum pada Persamaan 5. Bentuk geometri dari domain fluida untuk simulasi numerik ini dapat dilihat pada Gambar 2, dimana pada bagian depan, samping, atas, dan bawah merupakan dua kali dari panjang *pontoon*, sedangkan pada bagian belakangnya lima kali panjang *pontoon*. Dimensi yang digunakan pada simulasi numerik ini berskala 1:10 antara yang model dengan prototipe. Sistem koordinat yang digunakan dalam simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

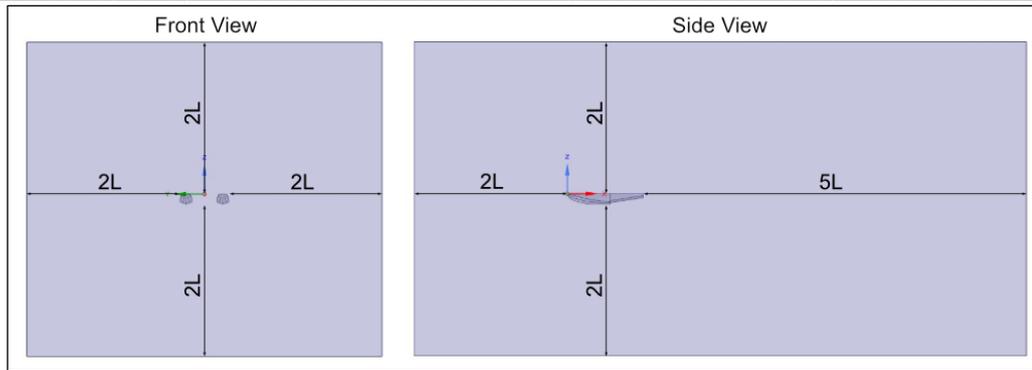
$$F_b = \rho \times g \times V \quad (5)$$

Tabel 1 Dimensi Utama *Pontoon*

Parameter	Simbol	Dimensi		Satuan
		Prototipe	Model	
Skala		1	10	
Panjang Total	L_{oa}	9,8	0,98	m
Beam	B	1,58	0,15	m
Tinggi	H	1,35	0,135	m
<i>Draught</i>	T	0,727	0,0727	m
<i>Displacement</i>	m	7039	6,87	kg
Sudut <i>deadrise</i>	β	20	20	°
Jarak Separasi	s	4,7	0,47	m

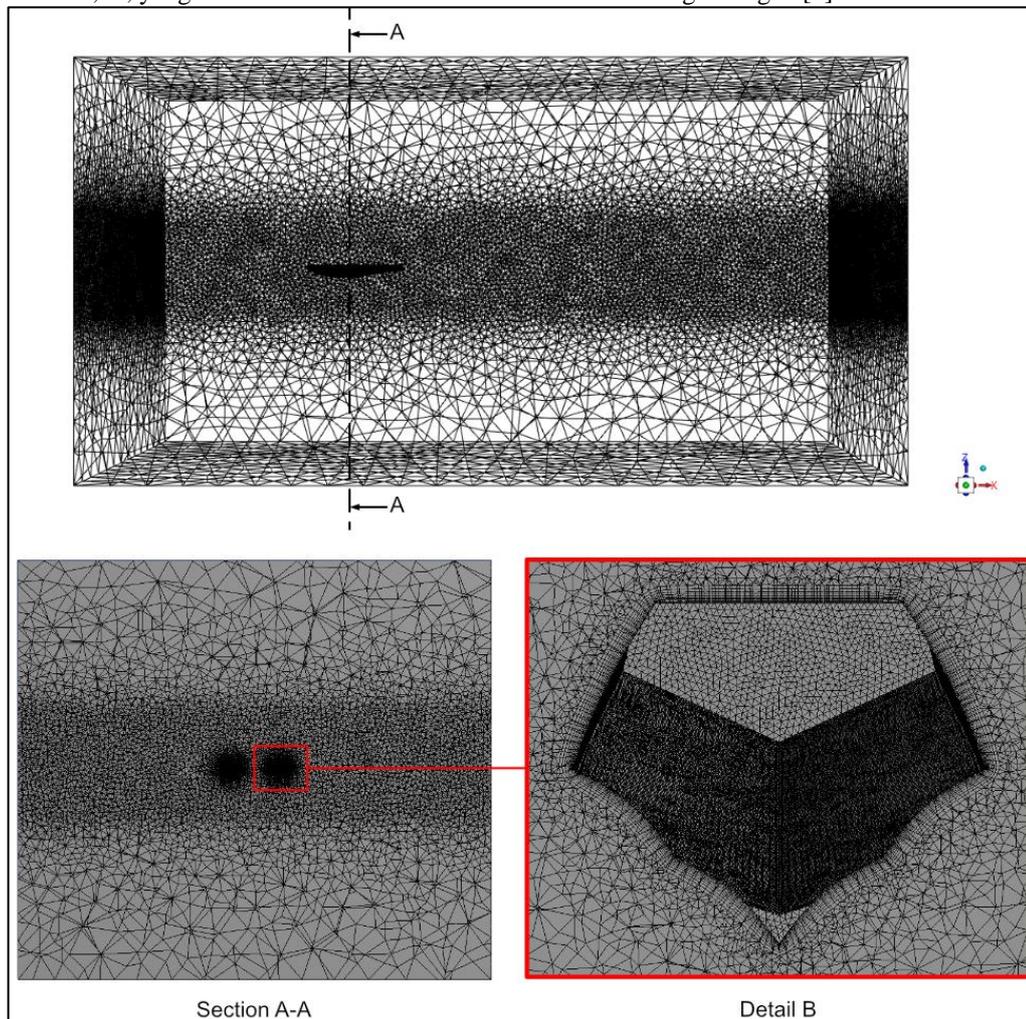


Gambar 1 Nomenklatur pada *Pontoon*



Gambar 2 Enclosure Domain

Setelah geometri dibentuk, langkah berikutnya ialah diskretisasi, yaitu proses membagi domain fluida menjadi sejumlah elemen tertentu. Untuk memberikan gambaran detail pada hasil simulasi, maka dilakukan beberapa metode *mesh*, seperti *body of influence*, *overset mesh*, dan *inflation*. Hasil *mesh* dapat dilihat pada Gambar 3 dengan nilai *skewness* maksimum adalah 0,79, yang mana nilai *skewness* ini masuk ke dalam kategori bagus [9].



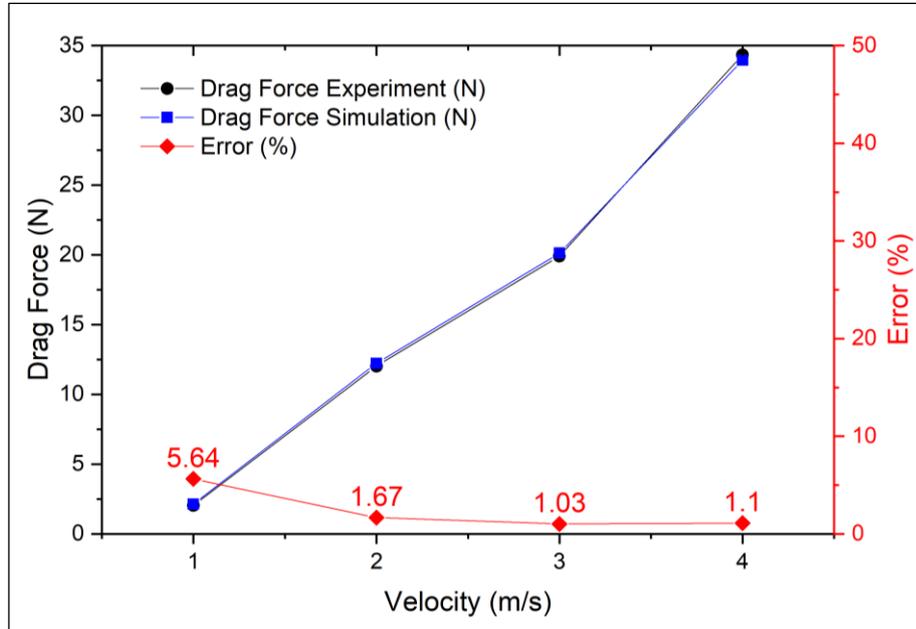
Gambar 3 Struktur Mesh

2.3 Variabel Penelitian

Massa total dari pesawat amfibi berpengaruh pada kedalaman tenggelam (*draught*) *pontoon*. Massa total yang divariasikan dalam skala model ialah 7,0 kg; 6,5 kg; dan 6 kg. Dalam skala prototipe, angka tersebut menjadi 7039 kg; 6663 kg; dan 6150 kg. Kedalaman tenggelam (*draught*) yang dihasilkan dari ketiga variasi massa dalam skala model untuk simulasi secara berturut-turut ialah 0,073 m; 0,070 m; dan 0,067 m. Setiap variasi massa, ini akan diuji pada kecepatan dalam skala model 1 m/s hingga 8 m/s dengan interval kecepatan ialah 1 m/s.

2.4 Validasi Metode

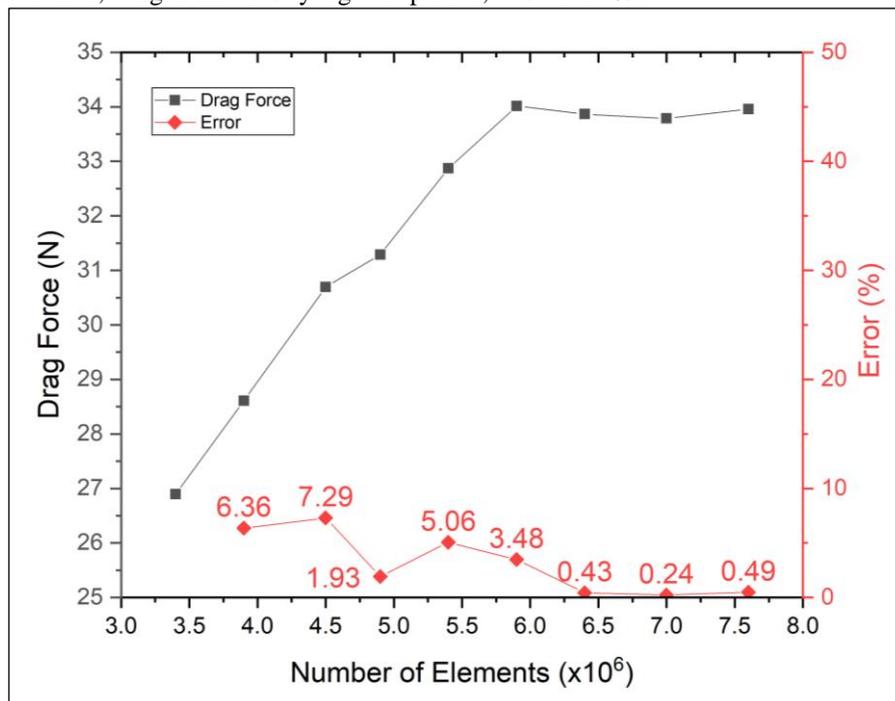
Untuk memastikan apakah simulasi numerik yang dilakukan merepresentasikan kondisi nyata atau tidak, maka dilakukan validasi hasil dengan membandingkan parameter yang diperoleh dari hasil simulasi dengan eksperimen atau hasil simulasi lain yang kredibel. Hasil simulasi ini dibandingkan dengan data eksperimen, dimana perbedaan antara data simulasi dan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil validasi menunjukkan angka di bawah 10%, sehingga hasil simulasi dapat diterima [10].



Gambar 4 Validasi Metode

2.5 Uji Independen Grid

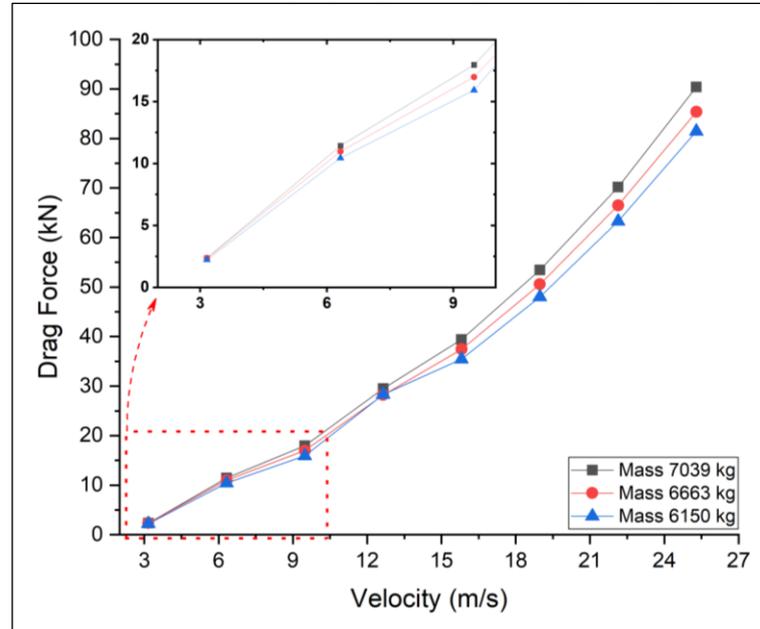
Selain validasi metode, uji independen *grid* juga diperlukan untuk mengetahui apakah jumlah elemen masih berpengaruh signifikan terhadap hasil simulasi atau tidak. Uji independen *grid* berupa membandingkan suatu parameter tertentu yang diperoleh dari simulasi terhadap jumlah elemen yang digunakan. Dengan uji independen *grid*, dapat ditentukan jumlah elemen yang paling optimal sehingga nilai eror kecil, tetapi dengan beban komputasi ringan. Hasil uji independen *grid* pada simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 5. Jumlah elemen yang digunakan pada simulasi numerik ini sebanyak 7 juta elemen, dengan nilai eror yang cukup kecil, di bawah 1%.



Gambar 5 Hasil Uji Independen Grid

3 Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan Prinsip Archimedes, semakin berat massa total pesawat amfibi, semakin dalam kedalaman tenggelamnya (*draught*). Hal ini tentunya mengakibatkan kontak antara air dengan dinding *pontoon*. Semakin dalam kedalaman tenggelamnya, maka semakin luas permukaan kontak antara dinding *pontoon* dengan permukaan air. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa semakin berat massa total pesawat amfibi, maka resistansinya juga semakin besar. Hasil simulasi numerik berdasarkan variasi massa yang diuji di delapan kecepatan dapat dilihat pada Gambar 6.

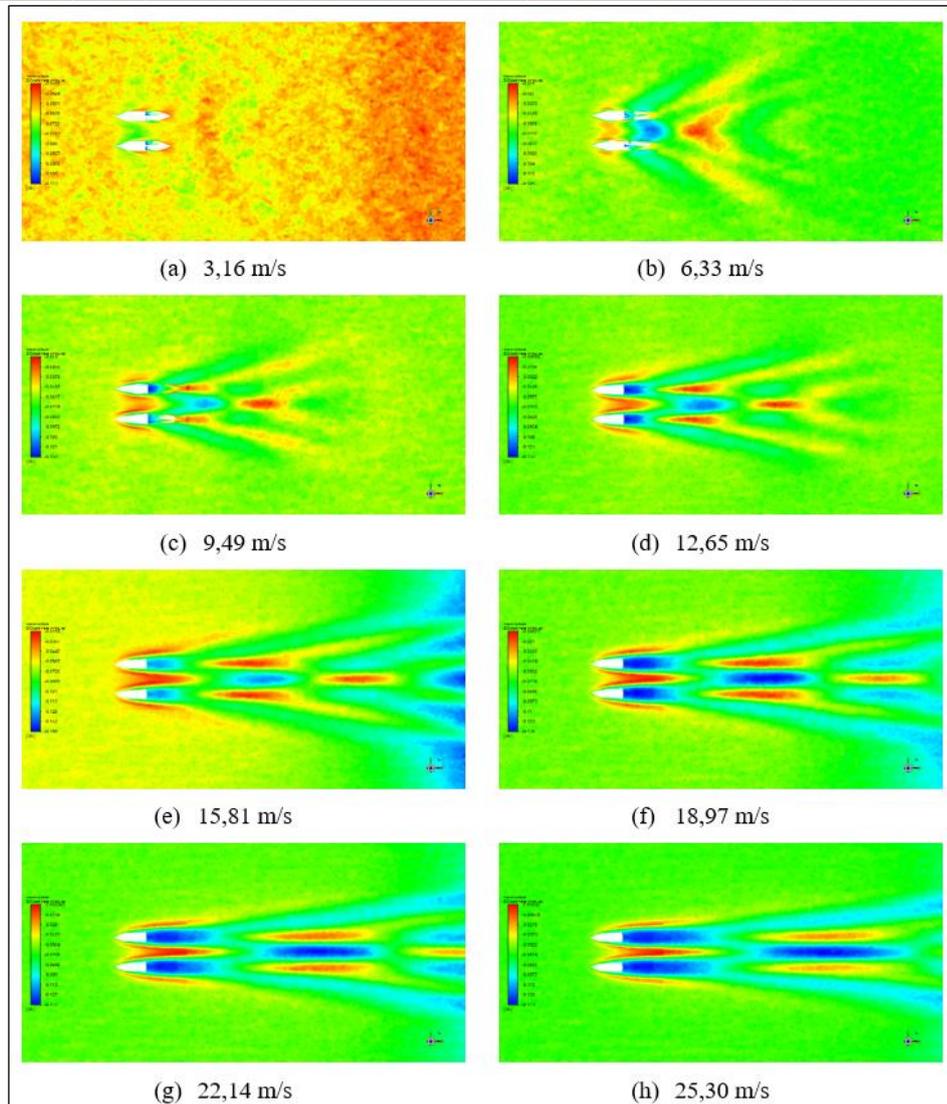


Gambar 6 Resistansi pada Setiap Varian Massa

Massa 7039 kg merupakan massa total dari pesawat 1:1, memiliki resistansi tertinggi dibandingkan dengan yang lain. Urutan kedua disusul oleh massa total pesawat amfibi 6663 kg, serta urutan terakhir dengan resistansi terendah. Dari Gambar 6, diperoleh informasi bahwa semakin berat bobotnya, maka resistansinya pun akan semakin besar pula. Besarnya nilai resistansi ini dipengaruhi oleh kedalaman tenggelam (*draught*), yang mana kedalaman tenggelam tersebut dipengaruhi oleh massa total pesawat amfibi. Koordinat posisi pesawat terbang amfibinya untuk yang terberat hingga teringan ialah -0,062 m; -0,064; dan 0,067.

Selain resistansi, pola aliran yang ditimbulkan dari pergerakan *pontoon* di permukaan air juga dianalisis. Pola aliran yang dihasilkan oleh pergerakan *pontoon* dapat dilihat pada Gambar 7 untuk setiap kecepatannya. Dapat dilihat bahwasanya terjadi pertemuan dua gelombang di tengah kedua *pontoon*. Pertemuan gelombang ini berpindah semakin ke belakang di antara kedua *pontoon* seiring dengan bertambahnya kecepatan. Dari ketiga variasi massa total yang divariasikan, tinggi gelombang air laut pada masing-masing variasi massa dari yang terberat hingga ke yang teringan secara berturut-turut antara lain 0,699 m; 0,651 m; dan 0,613 m.

Pertemuan gelombang air laut di tengah kedua *pontoon* menjadi kelebihan dan kekurangan. Interaksi antara kedua gelombang air laut tersebut dapat menjadi interferensi. Interaksi pertemuan kedua gelombang tersebut dikenal dengan efek interferensi. Efek interferensi dapat bernilai positif (interferensi antara dua *pontoon* meningkat) atau negatif (interferensi antara dua *pontoon* berkurang). Pada Gambar 7, efek interferensi semakin kecil seiring dengan meningkatnya kecepatan. Hal ini dikarenakan pertemuan kedua gelombang tidak lagi di tengah *pontoon*, melainkan agak ke belakang. Interferensi seperti ini menandakan bahwa pengaruh dari pertemuan kedua gelombang yang mengenai dinding *pontoon* cukup kecil.



Gambar 7 Pola Aliran Gelombang

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, menunjukkan bahwa semakin berat massa total pesawat amfibi, maka kedalaman tenggelam (*draught*) juga semakin dalam. Akibat kedalaman tenggelam yang semakin dalam, maka bidang luas sentuh antara fluida dengan dinding *pontoon* akan semakin besar. Besarnya bidang sentuh, mengakibatkan gaya hambat yang semakin tinggi. Selain gaya hambat, pola aliran juga cukup penting untuk menganalisis efek interferensi dan ketinggian gelombang yang ada. Efek interferensi semakin rendah seiring dengan bertambahnya kecepatan *pontoon* karena pertemuan gelombang yang posisinya semakin ke belakang di antara kedua *pontoon*. Gelombang yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki ketinggian yang selaras dengan massa total pesawat amfibi. Semakin berat massa total pesawat amfibi, semakin tinggi pula gelombang yang dihasilkan.

5. Daftar Pustaka

- [1] R. Cribb dan M. Ford, "Indonesia as an Archipelago: Managing Islands, Managing the Seas," dalam *Indonesia Beyond the Water's Edge: Managing an Archipelagic State*, Institute of Southeast Asian Studies, 2009. [Daring]. Tersedia pada: www.thecanadianencyclopedia.com/,
- [2] A. Utomo, Gunawan, dan Yanuar, "Biomimetics design optimization and drag reduction analysis for indonesia n219 seaplanes catamaran float," *Processes*, vol. 9, no. 11, Nov 2021, doi: 10.3390/pr9112024.
- [3] R. A. Ghifari dan E. Ahyudanari, "Analisis Transportasi Seaplane terhadap Konektivitas Antar Pulau di Kabupaten Halmahera Selatan," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, 2021.

-
- [4] S. Sunarti, "Transportation Limitation Access to the Small Islands (Case Study: Banggai Laut Regency)," dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Feb 2018. doi: 10.1088/1755-1315/123/1/012018.
- [5] Y. Guo, D. Ma, M. Yang, dan X. Liu, "Numerical analysis of the take-off performance of a seaplane in calm water," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 14, Jul 2021, doi: 10.3390/app11146442.
- [6] Yanuar *dkk.*, "Numerical and Experimental Analysis of Total Hull Resistance on Floating Catamaran Pontoon for N219 Seaplanes based on Biomimetics Design with Clearance Configuration," *International Journal of Technology*, vol. 11, no. 7, hlm. 1397–1405, 2020, doi: 10.14716/ijtech.v11i7.4503.
- [7] Y. Guo, D. Ma, M. Yang, H. Hu, dan X. Liu, "Numerical investigation on the resistance characteristics of a flying boat planing in calm water," *Applied Ocean Research*, vol. 117, Des 2021, doi: 10.1016/j.apor.2021.102929.
- [8] M. H. N. Aliffrananda, A. Sulisetyono, Y. A. Hermawan, dan A. Zubaydi, "Numerical Analysis of Floatplane Porpoising Instability in Calm Water During Takeoff," *International Journal of Technology*, vol. 13, no. 1, hlm. 190–201, 2022, doi: 10.14716/ijtech.v13i1.4903.
- [9] ANSYS, *ANSYS Fluent User's Guide*. Canonsburg: ANSYS, Inc, 2013.
- [10] A. Seth dan R. P. Liem, "Amphibious aircraft developments: Computational studies of hydrofoil design for improvements in water-takeoffs," *Aerospace*, vol. 8, no. 1, hlm. 1–31, Jan 2021, doi: 10.3390/aerospace8010010.