

KARAKTERISTIK AERODINAMIKA PONTON PESAWAT NXXX VERSI AMFIBI

Andreas Maulana Irsabudi

Mahasiswa
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Jember
andreas.irsabudi@gmail.com

Gagak Jatisukanto

Dosen
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Jember
gagak.ft@unej.ac.id

Hary Sutjahjono

Dosen
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Jember
hary.enconvers@gmail.com

Seaplanes are aircraft that can take off and landing on water. A seaplane's requirement is its need to take off and landing on watery conditions which is equipped with a pontoon. Pontoon of a seaplane needs to be evaluated in terms of aerodynamics characteristics when a seaplane flies. The purpose of this study is to determine the correlation of various geometric combinations of deadrise angle, step height, and constant cross-section length with the values of coefficient of drag (C_D), coefficient of lift (C_L) and coefficient of moment (C_M). The methodology was carried out by simulating Computational Fluid Dynamics (CFD) using OpenFOAM software. The results of this study could be concluded that deadrise angle affected coefficient of drag (C_D), coefficient of lift (C_L) and coefficient of moment (C_M) with each value of 0.0055, 0.0044, -0.0036, while step height didn't influence significantly on coefficient of drag (C_D) and didn't affect coefficient of lift (C_L) and coefficient of moment (C_M). Constant cross-section length didn't affect significantly on coefficient of drag (C_D) and coefficient of lift (C_L) but increasing constant cross-section length increased coefficient of moment (C_M) with a value of -0.0039.

Keywords: Seaplane, Pontoon, C_D , C_L , C_M .

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar dengan jumlah dengan jumlah pulau yang dimiliki yaitu 17.504 pulau. Luas perairan meliputi dua pertiga dari total wilayah, sehingga memiliki predikat sebagai Negara Maritim [1]. Salah satu upaya untuk menjadikan Indonesia sebagai poros maritim dunia adalah meningkatkan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat dengan memanfaatkan sektor laut. Tantangan dalam pengembangan sektor laut dibutuhkan moda transportasi yang dapat bergerak cepat dan taktis di dua kondisi [2, 3].

Pesawat amfibi adalah pesawat yang dapat lepas landas dan mendarat di air. Salah satu bagian unik pesawat amfibi adalah adanya wahana apung atau *pontoon*. *Pontoon* dirancang untuk dapat beroperasi di air yang berbentuk seperti pelampung atau lambung kapal. *Pontoon* secara efektif juga dapat melakukan pendaratan di darat dengan mengkombinasikan *landing gear* di dalamnya. Perancangan *pontoon* sangat penting untuk mengetahui desain *Hull*. Bagian terpenting dalam mendesain *hull* antara lain *deadrise angle*, *step height*, dan *constant cross-section length* [4, 5].

Frediani, *et al.* [6] meneliti tentang optimasi prototipe pesawat amfibi berbentuk PrandtlPlane dari sebelumnya T400 dibandingkan dengan T700 dengan Metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Bentuk *hull* atau *pontoon* dioptimasi dengan cara mengatur panjang *hull*, *step height*, *deadrise angle*, lebar *hull*, *constant cross-section length*, dan sudut kenaikan ekor dengan variasi sudut serang 6° , 8° , 10° , 12° , 14° , 16° , 18° , 20° , dan 22° . Hasil yang diperoleh yaitu nilai koefisien *lift* maksimum (C_{Lmax}) pada sudut serang $\alpha = 16^\circ$ dengan nilai mendekati 2.00. Ejeh, *et al.* [7] meneliti tentang evaluasi aerodinamika pada pemodelan Pesawat Airbus A380 dengan sudut serang -10° , 0° , 10° , 15° , dan 18° . metode yang digunakan adalah metode simulasi dengan *Solidworks* dan *Fluent*. Hasil yang diperoleh adalah nilai koefisien *lift* maksimum (C_{Lmax}) pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$ dengan nilai 1.50. Duan, *et al.* [8] meneliti mengenai gerakan *porpoising* dari pesawat amfibi dengan tiga model di atas air pada kecepatan tinggi. Metode yang digunakan adalah metode simulasi

menggunakan *OpenFOAM* dengan sudut serang dari -2° , 0° , 2° , 4° , 6° , 8° , dan 10° . Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai nilai koefisien *lift* maksimum (C_{Lmax}) pada sudut serang $\alpha = 6^\circ$ dengan nilai 0.77.

Peneliti akan melakukan evaluasi karakteristik aerodinamika *pontoon* pesawat berdasarkan bentuk variasi geometri dengan *software OpenFOAM* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui korelasi dari variasi kombinasi geometri *deadrise angle*, *step height*, dan *constant cross-section length* dengan nilai koefisien *drag* (C_D), koefisien *lift* (C_L), dan koefisien momen (C_M) pada variasi sudut serang (α).

2. METODE PENELITIAN

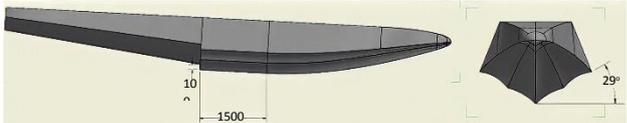
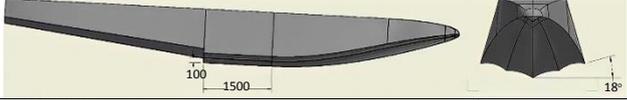
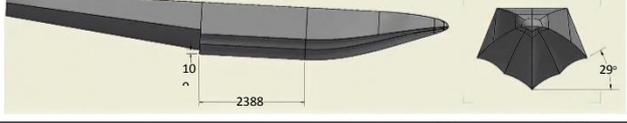
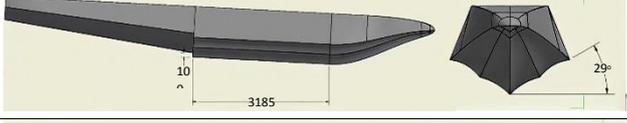
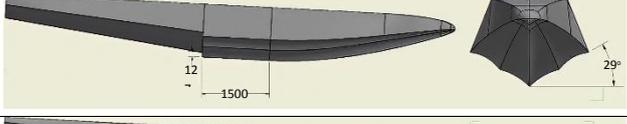
Penelitian ini menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk pemodelan 3D. Simulasi menggunakan *software OpenFOAM v5.0*. Parameter penelitian yaitu variasi sudut serang -10° , -5° , 0° , 3° , 5° , 10° , dan 15° serta variasi geometri *pontoon* pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel 1: Variasi geometri *pontoon*

NO	GEOMETRI	VARIASI		
		1	2	3
1	<i>Deadrise Angle</i> , D (deg)	18	29	37
2	<i>Step Height</i> , h (mm)	80	100	127
3	<i>Constant Cross-Section Length</i> , L (mm)	1500	2388	3185

Gambar konfigurasi *pontoon* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Konfigurasi geometri *pontoon*

NAMA	DESKRIPSI	GAMBAR
Konfigurasi 1 (K1)	D2h2L1	
Konfigurasi 2 (K2)	D1h2L1	
Konfigurasi 3 (K3)	D2h1L1	
Konfigurasi 4 (K4)	D2h2L2	
Konfigurasi 5 (K5)	D2h2L3	
Konfigurasi 6 (K6)	D2h3L1	
Konfigurasi 7 (K7)	D3h2L1	

Pembacaan deskripsi pada Tabel 2 yaitu simbol D menunjukkan *deadrise angle*, simbol h menunjukkan *step height*, dan simbol L menunjukkan *constant cross-section length*. Angka yang berada di simbol merujuk besaran nilai pada Tabel 1, sebagai contoh $D2h2L1$ artinya nilai *deadrise angle* (D) sebesar 29° , nilai *step height* (h) sebesar 100 mm, dan nilai *constant cross-section length* (L) sebesar 1500 mm.

Parameter yang dimasukkan pada proses *solving* ditunjukkan pada Tabel 3.

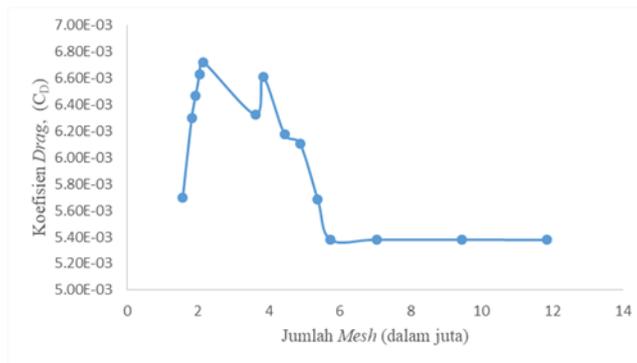
Tabel 3: Input parameter

PARAMETER	NILAI
Tipe <i>solver</i>	SIMPLE
<i>Mach number</i>	0.2 Mach
Model <i>turbulence</i>	k- ω SST
Kecepatan udara	54.44 m/s
Suhu	300 K
Tekanan	101325 Pa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Grid Independency Mesh*

Grid independency mesh merupakan bagian yang penting dalam mengevaluasi kualitas *mesh* pada simulasi CFD. Hal tersebut melibatkan perbaikan *mesh* dan menjalankan simulasi hingga memperoleh hasil objektif secara konvergen dengan nilai lebih besar atau sama dengan 10^{-5} . Pada tahap melakukan simulasi dalam bentuk 3D model pada konfigurasi $D2h2L1$ *Basic* dengan nilai sudut serang 0° .



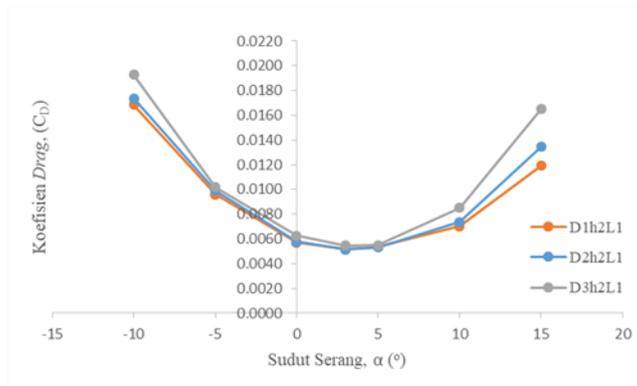
Gambar 1: Plot *grid independency mesh* terhadap koefisien *drag* (C_D)

Hasil grafik *grid independency mesh* ditunjukkan pada Gambar 1. Grafik tersebut merupakan plot sensitivitas *mesh* yang menjelaskan jumlah elemen berpengaruh terhadap akurasi hasil CFD. Jumlah elemen *mesh* ditambah hingga mencapai 12 juta elemen yang berpengaruh terhadap besaran nilai koefisien *drag* (C_D). Nilai koefisien *drag* (C_D) mengalami konvergen pada jumlah lima juta elemen hingga 12 juta elemen sehingga komputasi berikutnya dilakukan dengan mengambil jumlah lima juta elemen atau jumlah elemen terendah yang konvergen.

3.2 Analisis Koefisien *Drag* (C_D)

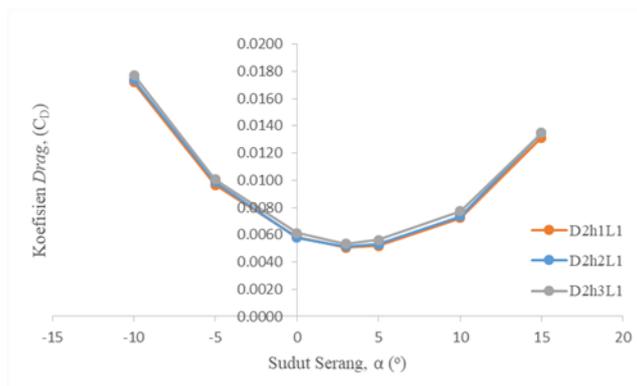
Nilai optimum pada koefisien *drag* (C_D) terletak pada sudut serang $\alpha = 3^\circ$ yang berarti memiliki nilai koefisien *drag* (C_D) paling rendah ($C_{D(\min)}$). Hal tersebut berarti pada nilai sudut serang di bawah 3° memiliki nilai koefisien *drag* (C_D) cenderung meningkat sama halnya dengan nilai sudut serang di atas 3° .

Gambar 2 menunjukkan konfigurasi D3h2L1 memiliki nilai koefisien drag (C_D) paling tinggi disusul konfigurasi D2h2L2 dan konfigurasi D1h2L1. Hal tersebut berarti menambah nilai *deadrise angle* dapat memperbesar nilai koefisien drag (C_D).



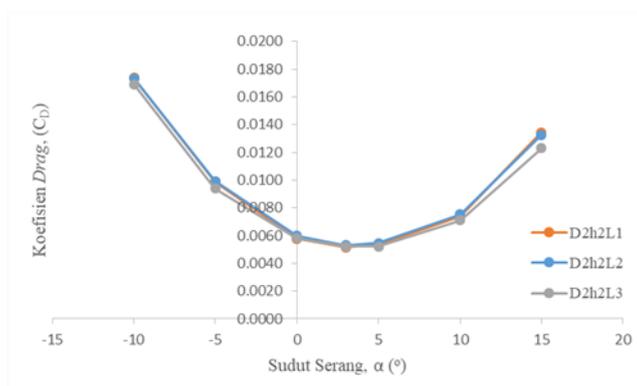
Gambar 2: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien drag (C_D) pada perbedaan *deadrise angle*

Gambar 3 menunjukkan konfigurasi D2h3L1 memiliki nilai koefisien drag (C_D) paling tinggi disusul konfigurasi D2h2L1 dan konfigurasi D2h1L1. Hal tersebut berarti menambah nilai *step height* dapat memperbesar nilai koefisien drag (C_D).



Gambar 3: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien drag (C_D) pada perbedaan *step height*

Gambar 4 menunjukkan konfigurasi D2h2L3 memiliki nilai koefisien drag (C_D) paling rendah dibandingkan dua konfigurasi yang disimulasikan. Konfigurasi D2h2L1 *Basic* dan konfigurasi D2h2L2 tidak memiliki interval nilai koefisien drag (C_D) yang signifikan.

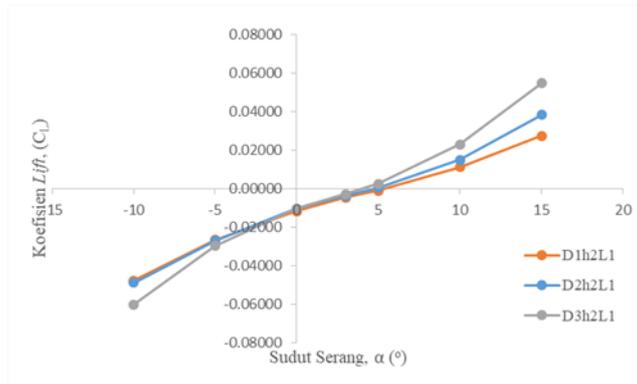


Gambar 4: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien drag (C_D) pada perbedaan *constant cross-section length*

3.3 Analisis Koefisien Lift (C_L)

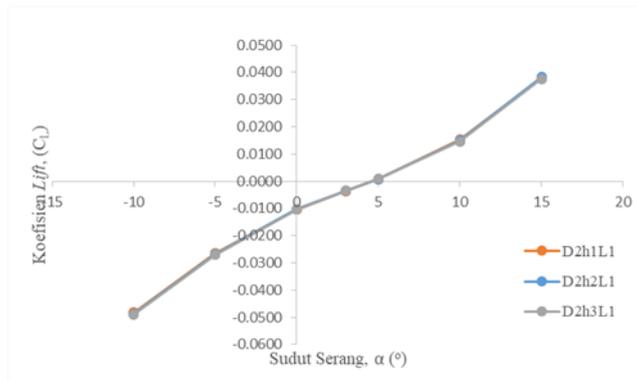
Nilai koefisien lift (C_L) akan terus meningkat sebanding bertambahnya nilai sudut serang (α) dan mencapai titik optimum pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$ yang disebut dengan koefisien lift maksimum ($C_{L,max}$). Hal tersebut berarti pada nilai sudut serang di bawah 15° memiliki nilai cenderung menurun.

Gambar 5 menunjukkan pada sudut serang $\alpha = -10^\circ$ dan -5° , konfigurasi D3h2L1 memiliki nilai koefisien lift (C_L) paling rendah di antara semua konfigurasi, sedangkan pada sudut serang sudut serang $\alpha = 0^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ$, dan 15° , konfigurasi D3h2L1 memiliki nilai koefisien lift (C_L) paling tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa menambah nilai *deadrise angle* dapat memperbesar kelengkungan kurva (*slope*) yang ditunjukkan pada sudut serang negatif, menambah nilai *deadrise angle* dapat menurunkan nilai koefisien lift (C_L) dan pada sudut serang positif dapat meningkatkan koefisien lift (C_L).



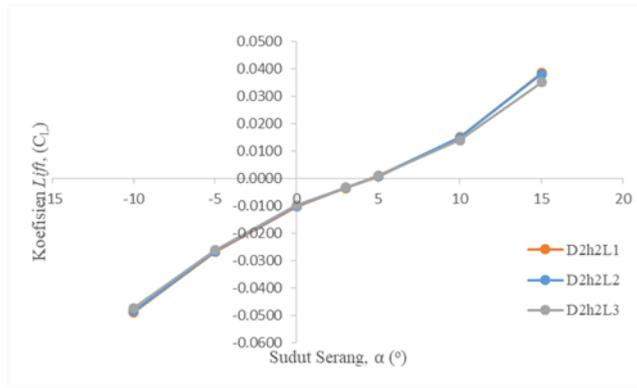
Gambar 5: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien lift (C_L) pada perbedaan *deadrise angle*

Gambar 6 menunjukkan perbedaan *step height* tidak berdampak secara signifikan terhadap perbedaan nilai koefisien lift (C_L). Hal tersebut dapat dilihat yang mana kurva dari semua nilai koefisien angkat (C_L) saling tumpang tindih.



Gambar 6: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien lift (C_L) pada perbedaan *step height*

Gambar 7 menunjukkan bahwa perbedaan *constant cross-section length* tidak menunjukkan interval yang signifikan terhadap masing-masing nilai koefisien lift (C_L). Namun, pada sudut serang $\alpha = -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 3^\circ$, dan 5° , nilai koefisien lift (C_L) tertinggi ditunjukkan konfigurasi D2h2L3 yang berarti konfigurasi tersebut memberi daya angkat yang cukup baik pada sudut serang negatif dan sudut serang normal saat *cruise*, sedangkan nilai sudut serang $\alpha = 10^\circ$ dan 15° membuktikan bahwa nilai koefisien lift (C_L) tertinggi diperoleh konfigurasi D2h2L1 yang artinya konfigurasi memberi daya angkat tambahan pada nilai sudut serang yang besar.

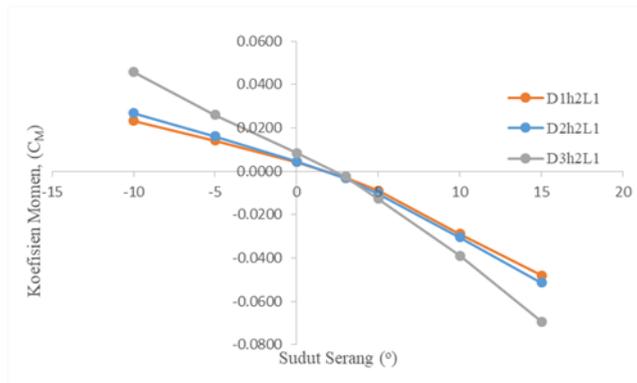


Gambar 7: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien lift (C_L) pada perbedaan *constant cross-section length*

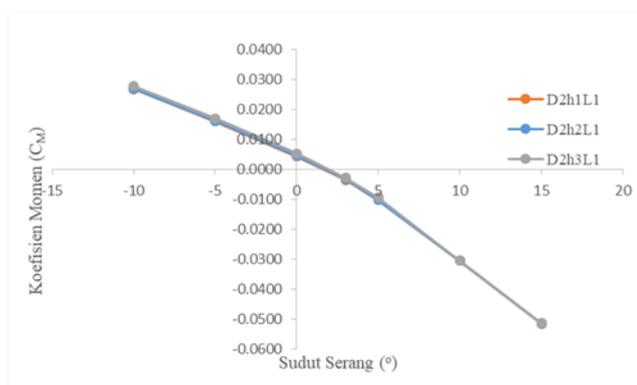
3.4 Analisis Koefisien Momen (C_M)

Nilai koefisien momen (C_M) akan terus menurun sebanding bertambahnya nilai sudut serang (α) dan mencapai titik optimum pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$. Hal tersebut berarti pada nilai sudut serang di bawah 15° memiliki nilai cenderung meningkat.

Gambar 8 menunjukkan perbedaan interval yang besar antar konfigurasi. Pada sudut serang $\alpha = -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ,$ dan 3° , konfigurasi D3h2L1 memiliki nilai koefisien momen (C_M) tertinggi tetapi memiliki nilai koefisien momen (C_M) terendah pada sudut serang $\alpha = 5^\circ, 10^\circ,$ dan 15° . Sebaliknya, konfigurasi D1h2L1 menunjukkan nilai koefisien momen (C_M) paling rendah pada pada sudut serang $\alpha = -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ,$ dan 3° serta nilai koefisien momen (C_M) tertinggi pada sudut serang $\alpha = 5^\circ, 10^\circ,$ dan 15° . Hal tersebut juga menjelaskan bahwa memperbesar *deadrise angle* berakibat memperbesar *slope* dari koefisien momen (C_M).



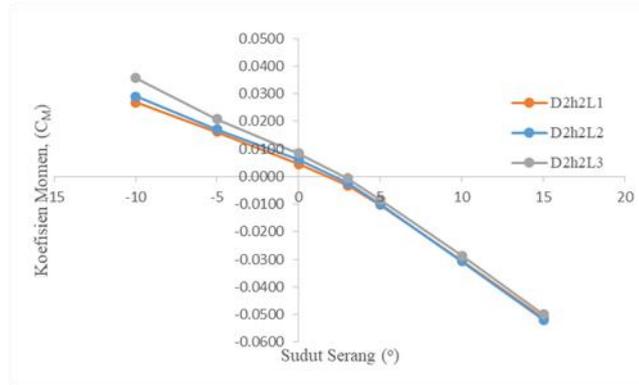
Gambar 8: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien momen (C_M) pada perbedaan *deadrise angle*



Gambar 9: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien momen (C_M) pada perbedaan *step height*

Gambar 9 menunjukkan bahwa konfigurasi D2h3L1 memiliki nilai koefisien momen (C_M) paling tinggi dibandingkan dengan dua konfigurasi lainnya. Selain itu, nilai koefisien momen (C_M) konfigurasi D2h2L1 dan konfigurasi D2h1L1 tidak memiliki interval yang signifikan. Hal tersebut berarti perbedaan nilai *step height* membuat nilai koefisien momen (C_M) juga bergeser semakin tinggi.

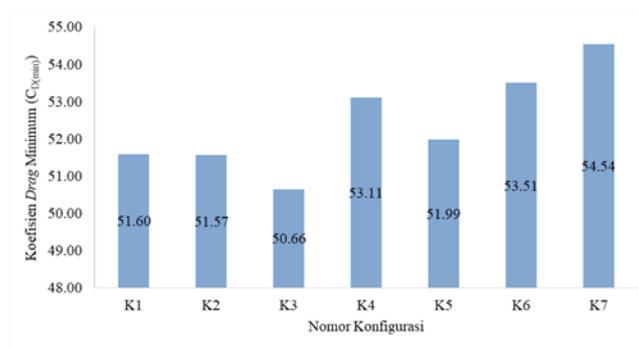
Gambar 10 menunjukkan bahwa konfigurasi D2h2L3 memiliki nilai koefisien momen (C_M) paling tinggi dibandingkan dengan dua konfigurasi lainnya. Selain itu, nilai koefisien momen (C_M) konfigurasi D2h2L1 dan konfigurasi D2h2L2 tidak memiliki interval yang signifikan. Hal tersebut berarti bahwa memperbesar *constant cross-section length* berakibat memperbesar nilai koefisien momen (C_M) tetapi tidak terjadi perubahan *slope* pada grafik.



Gambar 10: Korelasi antara sudut serang (α) dengan koefisien momen (C_M) pada perbedaan *constant cross-section length*

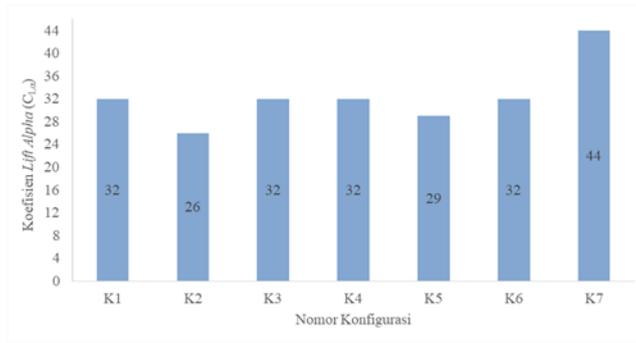
3.5 Hasil Keseluruhan

Nilai koefisien *drag* minimum ($C_{D(\min)}$) merupakan nilai koefisien *drag* (C_D) paling rendah pada sudut serang (α) optimum yang dicapai dari konfigurasi tertentu. Gambar 11 menunjukkan bahwa konfigurasi 3 (K3) atau D2h1L1 adalah konfigurasi terbaik dengan memiliki nilai koefisien *drag* minimum ($C_{D(\min)}$) paling kecil di antara semua konfigurasi, sebesar 50.66 *drag count* (1 *drag count* = 0.0001 C_D). Hal tersebut telah membuktikan bahwa konfigurasi 3 atau D2h1L1 memiliki nilai koefisien *drag* (C_D) lebih baik dari konfigurasi semula D2h2L1 *Basic*.



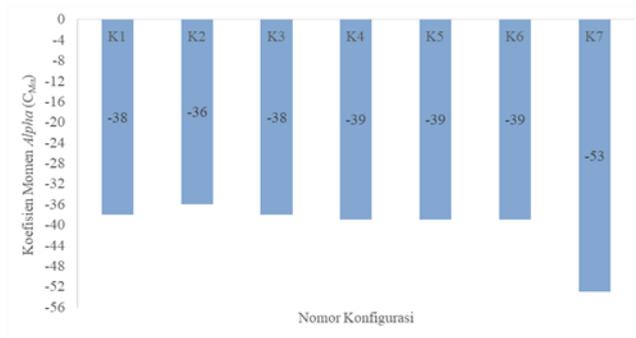
Gambar 11: Nilai $C_{D(\min)}$ tiap konfigurasi

Nilai koefisien *lift alpha* ($C_{L\alpha}$) dihitung dari persamaan garis dengan membuat garis *trendline* dari sudut serang 0° hingga 15° . Nilai koefisien *lift alpha* ($C_{L\alpha}$) dikali sepuluh ribu (10000). Gambar 12 menunjukkan konfigurasi 7 (K7) atau D3h2L1 memiliki nilai koefisien *lift alpha* ($C_{L\alpha}$) paling tinggi. Sementara itu, konfigurasi 2 atau D1h2L1 memiliki nilai koefisien *lift alpha* ($C_{L\alpha}$) paling rendah di antara semua konfigurasi.



Gambar 12: Nilai C_{Lα} tiap konfigurasi

Nilai koefisien momen *alpha* (C_{Mα}) didapat dari persamaan garis dengan menarik garis *trendline* sepanjang nilai sudut serang positif. Nilai koefisien momen *alpha* (C_{Lα}) dikali sepuluh ribu (10000). Gambar 13 menunjukkan konfigurasi 7 (K7) atau D3h2L1 memiliki nilai koefisien momen *alpha* (C_{Mα}) paling kecil yang berarti memiliki kestabilan yang baik dibandingkan dengan konfigurasi 2 (K2) atau D1h2L1 yang memiliki nilai koefisien momen *alpha* (C_{Mα}) terbesar.



Gambar 13: Nilai C_{Mα} tiap konfigurasi

3.6 Pengaruh *Deadrise Angle* (D) Terhadap Karakteristik Aerodinamika

Perubahan *deadrise angle* memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai koefisien *drag* (C_D) dibandingkan dengan dua variabel lainnya. Hal tersebut disebabkan *deadrise angle* memperbesar luas penampang depan dari *pontoon* dengan masing-masing nilai 7.684 m², 7.986 m², dan 8.313 m² secara berurutan untuk konfigurasi D1h2L1, D2h2L1 *Basic*, dan D3h2L1. Hal tersebut sesuai rumusan [9 – 11] dengan Persamaan (1). Peningkatan nilai koefisien *drag* (C_D) berakibat menurunkan performa pesawat seperti meningkatkan konsumsi bahan bakar dan mengurangi kecepatan pesawat.

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} \tag{1}$$

dengan,

- D : *drag*/gaya hambat (N)
- C_D : koefisien *drag* (*dimensionless*)
- ρ : massa jenis udara (kg/m³)
- V : kecepatan pesawat (m/s)
- S : luasan (m²)

Peningkatan nilai *deadrise angle* juga diikuti dengan peningkatan kurva (*slope*) nilai koefisien *lift* (C_L). Pada sudut serang negatif (α = -10° dan -5°), konfigurasi D3h2L1 memiliki nilai koefisien *lift* (C_L) paling rendah yang diakibatkan oleh kontur geometri *deadrise angle* yang lebih luas dibandingkan dua konfigurasi lainnya sehingga menurunkan nilai koefisien *lift* (C_L), sedangkan pada sudut serang positif (α =

0°, 3°, 5°, 10°, dan 15°), konfigurasi D3h2L1 memiliki nilai koefisien *lift* (C_L) paling besar. Hal tersebut disebabkan oleh luas penampang bawah *pontoon* yang luas sehingga memperbesar tekanan lokal dan mendorong ke atas sehingga nilai koefisien *lift* (C_L) naik [9]. Hal tersebut sesuai rumusan [9, 10] dengan Persamaan (2). Menurut Wijiatmoko [12], apabila pada saat *cruise* dengan nilai sudut serang berkisar antara 0° hingga 5° dengan nilai koefisien *lift* (C_L) negatif dapat menimbulkan tekanan ke bawah pada pesawat.

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} \quad (2)$$

dengan,

L	: <i>lift</i> /gaya angkat	(N)
C_L	: koefisien <i>lift</i>	(<i>dimensionless</i>)
ρ	: massa jenis udara	(kg/m^3)
V	: kecepatan pesawat	(m/s)
S	: luasan	(m^2)

Memperbesar nilai *deadrise angle* memperbesar kurva (*slope*) nilai koefisien momen (C_M). Pada sudut serang negatif ($\alpha = -10^\circ$ dan -5°), konfigurasi D3h2L1 memiliki nilai koefisien momen (C_M) besar yang disebabkan oleh kontur geometri *deadrise angle* yang lebih luas sehingga mengakibatkan *pitch down* yang besar pada *pontoon*, sedangkan pada sudut serang positif ($\alpha = 0^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ$, dan 15°), konfigurasi D3h2L1 memiliki nilai koefisien momen (C_M) paling rendah yang diakibatkan oleh luas penampang bawah *pontoon* yang paling luas. Penambahan luas penampang bawah *pontoon* meningkatkan *counter moment* yang menyebabkan nilai koefisien momen (C_M) menjadi lebih kecil [13]. Menurut Wijiatmoko [12], pada sudut serang (α) negatif memiliki nilai koefisien momen (C_M) yang tinggi dapat mendukung pesawat dalam mempercepat proses pengereman saat *landing*, sementara pada sudut serang (α) positif memiliki nilai koefisien momen (C_M) paling rendah berarti memiliki kestabilan yang baik.

3.7 Pengaruh *Step Height* (h) Terhadap Karakteristik Aerodinamika

Perubahan garis yang diskontinuitas dapat menyebabkan daerah separasi dan menyebabkan *turbulized separation*. Nilai *turbulized separation* yang semakin besar menyebabkan nilai koefisien *drag* (C_D) semakin tinggi [14]. *Step height* yang memiliki nilai koefisien *drag* (C_D) paling tinggi adalah konfigurasi D2h3L1. Hal tersebut diakibatkan perbedaan permukaan yang semakin luas sehingga memperbesar pula daerah separasi yang melebarkan daerah *wake*.

Perubahan nilai *step height* tidak mempengaruhi terhadap nilai koefisien *lift* (C_L). Hal tersebut ditunjukkan dengan hasil grafik pada Gambar 4.7 yang saling tumpang tindih dengan perbedaan nilai yang tidak berbeda jauh. Penyebabnya adalah perbedaan pada *step height* tidak menambah luas permukaan pada penampang bawah *pontoon* sehingga tidak memperbesar tekanan lokal pada daerah tersebut yang berakibat pada tidak bertambahnya nilai koefisien *lift* (C_L) [9].

Perubahan nilai *step height* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai koefisien momen (C_M) karena *step height* tidak berperan langsung terhadap *pitch moment*. Namun, pada sudut serang berkisar -10° hingga 5° , konfigurasi D2h3L1 memiliki nilai koefisien momen (C_M) yang sedikit lebih besar yang dapat mendukung pesawat dalam proses pengereman saat mendarat meskipun memiliki kestabilan yang kurang saat *cruise* [12].

3.8 Pengaruh *Constant Cross-Section Length* (L) Terhadap Karakteristik Aerodinamika

Geometri *constant cross-section length* sejatinya tidak berdampak terhadap nilai koefisien *drag* (C_D) karena geometri tersebut merupakan daerah yang memperpanjang atau memperpendek daerah bawah *pontoon* dan tidak mempengaruhi terhadap nilai koefisien *drag* (C_D). Namun, Gambar 4 menunjukkan adanya perbedaan nilai koefisien *drag* (C_D) meskipun grafik tersebut tidak memberikan nilai koefisien *drag* (C_D) yang signifikan. Hal tersebut terjadi karena perubahan geometri *constant cross-section length* merubah bentuk kelengkungan busur pada *pontoon*. Perubahan tersebut memperbesar perbedaan pada nilai koefisien *drag* (C_D) walaupun menjaga dan mengontrol kelengkungan busur terbukti sulit maka kontribusinya terhadap nilai koefisien *drag* (C_D) tidak diketahui.

Perubahan nilai *constant cross-section length* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai koefisien *lift* (C_L). Pada sudut serang di bawah 10° ($\alpha = -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 3^\circ, \text{ dan } 5^\circ$), nilai koefisien *lift* (C_L) tertinggi diraih oleh konfigurasi D2h2L3 dibandingkan dua konfigurasi lainnya. Hal tersebut diakibatkan nilai koefisien *drag* (C_D) paling kecil yang memungkinkan kecilnya nilai *induced drag* [15]. Selain itu, pada sudut serang di atas 5° ($\alpha = 10^\circ \text{ dan } 15^\circ$), konfigurasi D2h2L1 *Basic* menunjukkan nilai paling tinggi yang disebabkan kontur permukaan bawah *pontoon* yang lebih luas sehingga mampu memperbesar nilai koefisien *lift* (C_L) [9].

Pengaruh dari geometri *constant cross-section length* tidak merubah kurva (*slope*) dari nilai koefisien momen (C_M). Pada sudut serang negatif ($\alpha = -10^\circ \text{ dan } -5^\circ$), memperbesar nilai *constant cross-section length* berakibat pada nilai koefisien momen (C_M) yang juga besar, sedangkan pada sudut serang positif ($\alpha = 0^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ, \text{ dan } 15^\circ$), nilai koefisien momen (C_M) paling tinggi didapat oleh konfigurasi D2h2L3 dan perubahan interval yang tidak signifikan antara konfigurasi D2h2L1 *Basic* dan konfigurasi D2h2L2. Hal tersebut disebabkan oleh semakin besarnya luasan (S) dari *pontoon* akibat dari penambahan luas *constant cross-section length* dengan masing-masing nilai $35.863 \text{ m}^2, 36.594 \text{ m}^2, \text{ dan } 37.168 \text{ m}^2$ secara berurutan untuk konfigurasi D2h2L1 *Basic*, D2h2L2, dan D2h2L3. Hal tersebut sesuai rumusan [9, 10] dengan Persamaan (3).

$$C_M = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho V^2 SL} \quad (3)$$

dengan,

M	: moment/gaya momen	(Nm)
C_M	: koefisien momen	(dimensionless)
ρ	: massa jenis udara	(kg/m^3)
V	: kecepatan pesawat	(m/s)
S	: luasan	(m^2)
L	: panjang karakteristik	(m)

Geometri *constant cross-section length* paling tinggi yang diwakilkan konfigurasi D2h2L3 menunjukkan bahwa geometri tersebut unggul dalam membantu pesawat saat *landing* dan membantu proses pengereman tetapi tidak stabil saat kondisi *cruise*. Selanjutnya, konfigurasi D2h2L2 memiliki hasil koefisien momen (C_M) paling rendah pada sudut serang (α) positif yang berarti konfigurasi tersebut memiliki kestabilan yang lebih baik dibandingkan dua konfigurasi lainnya. Hal tersebut serupa dengan yang dikemukakan oleh Husnayati [16] bahwa semakin negatif nilai koefisien momen (C_M) memiliki kestabilan yang baik.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dalam penelitian ini dapat ditarik bahwa koefisien *drag* (C_D) dipengaruhi signifikan oleh geometri *deadrise angle* dengan nilai paling besar untuk konfigurasi D3h2L1 yaitu 0.00545 atau 54.54 *drag count*, sedangkan *step height* dan *constant cross-section length* tidak berdampak signifikan. Sementara itu, Koefisien *lift* (C_L) dipengaruhi signifikan oleh geometri *deadrise angle* dengan nilai koefisien *lift alpha* ($C_{L\alpha}$) paling besar untuk konfigurasi D3h2L1 dengan nilai 0.0044 dibandingkan dengan *step height* yang tidak memiliki pengaruh dan *constant cross-section length* yang berdampak tidak signifikan. Koefisien momen (C_M) dipengaruhi signifikan oleh geometri *deadrise angle* dengan nilai koefisien momen *alpha* ($C_{M\alpha}$) paling rendah yaitu -0.0036 untuk konfigurasi D1h2L1. Semakin besar nilai *constant cross-section length* menghasilkan koefisien momen (C_M) yang besar dengan nilai -0.0039 pada konfigurasi D2h2L3, sedangkan *step height* tidak berpengaruh terhadap koefisien momen (C_M).

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Dirgantara Indonesia yang telah menyediakan fasilitas pendukung penelitian dan Bapak Aristo Taufiq yang telah memberikan arahan dan diskusi selama penelitian di PT. Dirgantara Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN REPUBLIK INDONESIA, *Maritim Indonesia*, Jakarta, Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2017.
- [2] KEMENTERIAN KOORDINATOR BIDANG MARITIM DAN SUMBER DAYA REPUBLIK INDONESIA, *Surat Undangan Deputi Bidang Koordinasi Insfrastruktur Nomor 124/D3/Maritim/VI/2016 tentang Undangan Rapat Koordinasi Dukungan Infrastruktur di 10 Destinasi Pariwisata Prioritas*, Jakarta, Kementerian Koordinator Bidang Maritim dan Sumber Daya, 2016.
- [3] KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN REPUBLIK INDONESIA, *Laporan Kinerja KKP 2016*, Jakarta, Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2016.
- [4] MINNICK, W., *Chinese Seaplanes, Amphibious Aircraft and Aerostats/Airships: Product Brochures*, 1 ed., California, Create Space Independent Publishing Platform, 2016.
- [5] JENKINSON, L. R., MARCHMAN, J. F., “Project Study: A General Aviation Amphibian Aircraft”, *Aircraft Design Projects: For engineering students*, chapter 10, Oxford, UK, Butterworth-Heinemann, 2003.
- [6] FREDIANI, A., CIPOLLA, V., OLIVIERO, F., “The First Prototype of an Amphibious Prandtlplane-Shaped Aircraft”, *The Journal of Aerospace Science, Technology and Systems*, v. 94, n. 3, pp. 195-209, Juli-Sept. 2015.
- [7] EJEH, C. J., AKHABUE, G.P., ANNAN, E. B., *et al.*, “Evaluating The Influence of Unsteady Air Density to The Aerodynamic Performance of A Fixed Wing Aircraft at Different Angle of Attack Using Computational Fluid Dynamics”, *Results in Engineering*, v. 4, pp. 1-12, Des. 2019.
- [8] DUAN, X., SUN, W., CHEN, C., *et al.*, “Numerical Investigation of The Porpoising Motion of a Seaplane Planing on Water With High Speeds”, *Aerospace Science and Technology*, v. 84, pp. 980-994, Jan. 2019.
- [9] RUIJGROK, G. J. J., *Elements of Airplane Performance*, 2 ed., Delft, VVSD, 2009.
- [10] ANDERSON JR, J. D., *Introduction to Flight*, 8 ed., New York, The McGraw-Hill, 2016.
- [11] SYAMSURI, LILLAHULHAQ, Z., YUSRON, M. “Simulation of Fluid Flow Through Sedan Car YRS 4 Doors with Speed Variation Using CFD”, *Rekayasa Mesin*, v. 11, n. 3, pp. 395-400, Sep. 2020.
- [12] WIJATMOKO, G., “Analisis Aerodinamika Sudut Defleksi Spoiler Pesawat Terbang”, *Seminar Nasional dan Gelar Produk*, v. 2, n. 36, pp. 258-263, Okt. 2017.
- [13] AMIR, M. H., SARWONO, “Analisa Nilai Hinge Moment Coefficient pada Pengaruh Bentuk Rudder Pesawat N-2XX dengan Variasi Defleksi Rudder 0°, 10°, dan 25° Berbasis Computational Fluid Dynamics”, *Jurnal Teknik ITS*, v. 7, n. 2, pp. 140-145, Okt. 2018.
- [14] MAKAROV, K. A., PAVLENKO, A. A., “Numerical Investigation of an Aileron Hinge Moments and Effectiveness on a High Lift Wing Airfoil”, In: *29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences*, pp. 1-10, St. Petersburg, Rusia, 7-12 September 2014.
- [15] FILIPPONE, A., *Advanced Aircraft Flight Performance*, 1 ed., New York, Cambridge University Press, 2012.
- [16] HUSNAYATI, N., MOELYADI, M. A., “Analisis Aerodinamika dan Studi Parameter Sayap CN-235 Kondisi Terbang Jelajah”, *Jurnal Teknologi Dirgantara*, v. 10, n. 2, pp. 127-136, Des. 2017.