

ANALISIS PERFORMA AERODINAMIKA PESAWAT AMFIBI BERKAPASITAS 19 ORANG DENGAN MENGGUNAKAN LOW SPEED WIND TUNNEL

*Gluyen Rossel¹, Eflita Yohana², Mohammad Tauviqirrahman²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: gluyenrossel@gmail.com

Abstrak

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki keterbatasan dalam hal transportasi. Kapal laut yang sering digunakan untuk penghubung antar pulau dirasa kurang dari segi kecepatan dan fleksibilitas. Pesawat amfibi hadir sebagai alternatif kapal laut yang menawarkan keunggulan dari segi kecepatan dan fleksibilitas sistem. Pengembangan pesawat amfibi tak jauh dari analisis aerodinamika dan analisis kelayakan terbang yang dimilikinya, oleh karena itu, diperlukan adanya pengujian aerodinamika untuk pesawat amfibi. Pengujian menggunakan *wind tunnel* merupakan langkah analisis untuk mendapatkan data aerodinamika akurat yang mendekati kondisi sebenarnya. Analisis aerodinamika pesawat amfibi berkapasitas 19 penumpang menggunakan *wind tunnel* regim sub-sonik sirkuit tertutup dengan kecepatan operasional 70m/s memberikan hasil pesawat amfibi berkapasitas 19 orang akan kehilangan gaya angkat atau mengalami stall pada sudut serang 15,81° dan hasil karakterisasi aerodinamika, geometri pesawat amfibi berkapasitas 19 orang menghasilkan koefisien gaya angkat yang relatif kecil, dan memiliki koefisien gaya angkat pada kondisi stall sebesar 1,9068.

Kata kunci: aerodinamika; pesawat amfibi; *wind tunnel*

Abstract

Indonesia as an archipelagic country has limitations in terms of transportation. Ships that are often used to connect between islands are considered lacking in terms of speed and flexibility. Amphibious aircraft are present as an alternative to ships that offer advantages in terms of speed and system flexibility. The development of amphibious aircraft is not far from aerodynamic analysis and flightworthiness analysis, therefore, aerodynamic testing is needed for amphibious aircraft. Testing using a wind tunnel is an analysis step to obtain accurate aerodynamic data that is close to actual conditions. Aerodynamic analysis of a 19-passenger capacity amphibious aircraft using a closed circuit sub-sonic wind tunnel regime with an operational speed of 70m/s gives the results that a 19-seat amphibious aircraft will lose lift or experience a stall at an angle of attack of 15.81° and the results of aerodynamic characterization, amphibious aircraft geometry with a capacity of 19 people, it produces a relatively small lift coefficient, and has a lift coefficient under stall conditions of 1.9068.

Keywords: aerodynamics; amphibious aircraft; wind tunnel

1. Pendahuluan

Indonesia terdiri dari banyak pulau yang dikelilingi oleh laut, memunculkan tantangan dalam hal komunikasi dan koordinasi. Transportasi menjadi fokus utama menghubungkan pulau-pulau tersebut [1], [2]. Transportasi laut dan udara adalah sarana utama untuk menghubungkan pulau-pulau yang tersebar di seluruh Indonesia. Sebagian besar transportasi yang digunakan adalah kapal laut, yang mampu mengangkut banyak penumpang dan barang. Namun, kapal laut memiliki keterbatasan dalam hal waktu dan kecepatan, sehingga kurang ideal untuk situasi darurat yang memerlukan transportasi cepat dan fleksibel [3].

Pesawat menjadi alternatif lain yang menawarkan kecepatan dan fleksibilitas. Meski demikian, tidak semua pulau memiliki lahan yang cukup untuk membangun bandara. Umumnya, pesawat komersial memerlukan landasan pacu minimal sepanjang 1500 meter. Namun, terdapat jenis pesawat khusus seperti pesawat amfibi dengan kemampuan Short Take Off Landing (STOL), yang dapat lepas landas dan mendarat dalam jarak pendek maksimal 150 meter. Selain itu, pesawat amfibi dapat mendarat di air, menjadikannya sangat strategis untuk wilayah Indonesia yang banyak pulau-pulau yang tidak memiliki landasan pacu atau fasilitas lepas landas [4], [5], [6], [7].

Menurut Wang et al., performa pesawat amfibi tidak hanya dipengaruhi oleh koefisien aerodinamis dan daya dorong mesin, tetapi juga koefisien hidrodinamis. Beberapa parameter penting yang harus dipertimbangkan meliputi drag, kecepatan terbang, dan sudut pitch, yang berubah seiring waktu dan mempengaruhi koefisien hidrodinamika serta aerodinamika [6].

Koefisien aerodinamika meliputi gaya angkat *lift* dan gaya hambat *drag*, dapat diteliti secara pendekatan matematis, numerical dan eksperimental. Untuk melihat koefisien aerodinamika secara eksperimental dilakukan dengan

melakukan penelitian menggunakan *wind tunnel*. *Wind tunnel* adalah perangkat yang dirancang untuk menghasilkan aliran udara dengan berbagai kecepatan pada regim yang seragam melalui *test section*. *Wind tunnel* digunakan dalam penelitian aerodinamis guna menganalisis perilaku aliran dalam berbagai kondisi, baik di aliran internal maupun aliran eksternal yang merambat diatas permukaan benda padat. Ahli aerodinamika dapat menggunakan *wind tunnel* sebagai alat mengukur kondisi aliran dan gaya pada model pesawat serta mampu mengumpulkan informasi diagnostik dari model tanpa harus membangun prototipe dalam skala penuh [8].

Wind tunnel dapat memberikan analisis pengujian aerodinamis dalam kerangka asumsi perawat terbang kondisi *cruise*, sehingga dapat memudahkan pengujian tanpa harus melakukan uji terbang. Dalam penggunaannya, *wind tunnel* harus memiliki keidentikan bilangan Reynolds, pada regim sub-sonik nilai minimum batas bawah rentang bilangan Reynolds *wind tunnel* pada 1,5 juta berdasarkan sensitivitas instrumentasi dan ukuran model [9].

Penelitian untuk menganalisis karakteristik aerodinamika pesawat telah dilakukan oleh Yanto, dkk dengan menguji model pesawat UAV Puna menggunakan low speed *wind tunnel*, mendapatkan hasil C_L max sebesar 1,23 pada sudut serang 9,5 sementara nilai karakterisasi aerodinamika Cl/Cd maksimum pada sudut serang 6,5 bernilai 11,5. Dalam uji penelitian tersebut, *wind tunnel* regim sub-sonik digunakan dengan kecepatan operasional 50m/s yang setara dengan bilangan Reynolds 900.000 [10].

Untuk mengetahui kelayakan terbang dari pesawat amfibi maka dibutuhkan analisis karakteristik aerodinamika terutama koefisien gaya angkat yang dimilikinya, oleh karena itu, dibutuhkan penelitian menggunakan *wind tunnel* guna mendapatkan nilai koefisien gaya angkat dan gaya hambat secara akurat.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1. Koefisien Aerodinamika Pesawat

Dalam pembuatan suatu pesawat terbang, suatu analisis sebelum terbang terhadap kinerja aerodinamika dari pesawat tersebut sangat diperlukan, terutama untuk daerah dimana metode analitik/empirik tidak dapat menjangkaunya seperti perkiraan C_L max, karakteristik stall, fungsi-fungsi *high lift device* dan lain-lainnya. Di samping itu, karakteristik stabilitas dari model pesawat dapat diperoleh yang berguna untuk memperkirakan manuver-manuver yang mungkin dilakukan oleh pesawat [11]. Dari beberapa metode analisis aerodinamika, metode pengujian *wind tunnel* terhadap model pesawat masih diyakini sebagai metode yang cukup efektif untuk memprediksi beban aerodinamika dan stabilitas pesawat yang ingin dibuat [10].

Pesawat dapat terbang di udara dikarenakan gaya-gaya yang bekerja pada pesawat tersebut. Gaya yang bekerja pada pesawat diantaranya adalah gaya angkat, gaya hambat, gaya berat, dan gaya dorong [12].

Koefisien gaya angkat merupakan perbandingan antara tekanan angkat yang bekerja pada airfoil terhadap tekanan dinamis aliran fluida yang mengaliri airfoil [12]. Koefisien gaya angkat dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_P} \quad (1)$$

Dimana :

F_L adalah gaya angkat yang terjadi.

ρ adalah massa jenis udara.

V adalah kecepatan aliran bebas.

A_P adalah luasan proyeksi maksimum dari sayap.

Koefisien gaya hambat merupakan perbandingan antara tekanan hambat yang bekerja pada airfoil terhadap tekanan dinamis aliran fluida yang mengaliri airfoil [12]. Koefisien gaya hambat dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_P} \quad (2)$$

Dimana :

F_D adalah gaya hambat yang terjadi.

ρ adalah massa jenis udara.

V adalah kecepatan aliran bebas.

A_P adalah luasan proyeksi maksimum dari sayap.

Koefisien gaya samping (*side force*) merupakan perbandingan antara tekanan ke arah samping yang bekerja pada pesawat terhadap tekanan dinamis aliran fluida yang mengaliri airfoil [13]. Koefisien gaya hambat dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_Y = \frac{F_{SF}}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_P} \quad (3)$$

Dimana :

F_{SF} adalah gaya samping yang terjadi.

ρ adalah massa jenis udara.

V adalah kecepatan aliran bebas.

A_P adalah luasan proyeksi maksimum dari sayap.

2.2. Reynolds Number

Bilangan Reynolds adalah parameter dasar yang menentukan topologi medan aliran dan evolusinya dalam perubahan waktu, dengan melibatkan faktor inersia, tekanan dan viskositas. Bilangan Reynolds memiliki kaitan dengan dinamika fluida terutama terkait aliran laminar, transisi dan turbulen [14]

Bilangan Reynolds sebagai hubungan kekentalan dalam skala Panjang, waktu dan atau kecepatan, disajikan dalam medan aliran tertentu sebagai hasil dari efek difusi [15].

$$Re = \frac{xV\rho}{\mu} \quad (4)$$

Dimana :

Re adalah bilangan Reynolds.

x adalah panjang karakteristik geometri.

V adalah kecepatan gerak.

ρ adalah densitas fluida.

μ adalah tegangan geser permukaan.

Sifat aliran dapat teridentifikasi sebagai aliran laminar atau aliran turbulen. Dalam penggunaannya aliran laminar dan turbulen memiliki tujuan pengujian tersendiri, oleh karenanya Bilangan Reynolds sangat diperlukan untuk mengidentifikasi apakah aliran tersebut laminar atau turbulen [16].

2.3. Wind Tunnel

Penelitian ini menggunakan *wind tunnel* dengan sirkuit tertutup dan beroperasi pada regim kecepatan sub-sonik. Kecepatan angin maksimum yang dapat dihasilkan melalui seksi uji dari hasil komisioning dan sudah terkalibrasi adalah sebesar 110m/s, namun dalam pengujian model pesawat amfibi menggunakan kecepatan sebesar 70m/s sesuai dengan kesetaraan bilangan Reynolds sebesar 15.000.000.

Penampang pengujian berupa ruang segi empat berukuran 4m x 3m x 10m dengan sisi kiri dan kanan seksi penampang uji dilengkapi dengan lubang-lubang udara. Lubang udara ini memiliki fungsi menetralkan kembali tekanan udara di dalam seksi pengujian ke kondisi tekanan udara standar.

Pada seksi uji dari *wind tunnel* ini dilengkapi dengan dua buah *turn table* yang diletakkan pada langit-langit dan dasar dinding *section test* pengujian. *Turn table* ini dapat diputar hingga 90 derajat. Pada *settling chamber* terpasang *honeycomb* yang berfungsi mengarahkan aliran, *settling chamber* juga dilengkapi dengan 3 *turbulence screen* berukuran halus untuk memecah turbulensi sebelum masuk ke dalam seksi penampang uji. Variasi kecepatan angin pada seksi pengujian dapat diperkecil hingga kurang dari 0,2% dari kecepatan angin rata-rata. Sedangkan variasi tekanan statis arah longitudinal berkisar 0,3% dari tekanan dinamik. Ketika kecepatan angin di dalam penampang uji 0m/s dan angularitas aliran mampu dijaga pada 0,1 derajat sudut pitch dan 0,2 derajat untuk sudut yaw.

Penampang akhir dari seksi pengujian memiliki ukuran yang sedikit lebih besar sebagai salah satu cara untuk menjaga deviasi *buoyancy* di dalam seksi pengujian sekecil mungkin. *Boundary layer* pada dinding seksi pengujian memiliki ketebalan sisi kanan kiri sebesar 11 cm atau sebesar 2,75% dari lebar penampang, dan pada bagian lantai dan langit langit sebesar 13 cm atau 4,33% dari tinggi penampang pengujian. Sehingga *test section* area pengujian pada *wind tunnel* sebesar 86,32% dari luas penampang uji.

Dalam melakukan pengujian aerodinamika menggunakan *wind tunnel*, diperlukan adanya model pesawat uji. Model pesawat uji dapat dipasang pada *test section* dengan 2 jenis penimbangan. Alat timbangan gaya dan momen aerodinamika sebuah model pesawat dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu *internal balances* dan *external balances*. Untuk penelitian ini digunakan penimbangan jenis *external balances*. Gambar *external balances* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. External balances wind tunnel

2.4. Setup Model Pengujian

Pada pengujian kali ini, model pesawat amfibi dipasang pada posisi *upside down* seperti pada Gambar 2, lalu dihubungkan ke *external balances* melalui *wing strut* yang disangga oleh *external balance mechanism* seperti pada Gambar 4.3 yang memungkinkan untuk pergerakan model sesuai sudut serang yang diinginkan, dalam pengujian kali menggunakan variasi sudut serang -10 derajat sampai derajat sudut stall dengan interval 1 derajat.



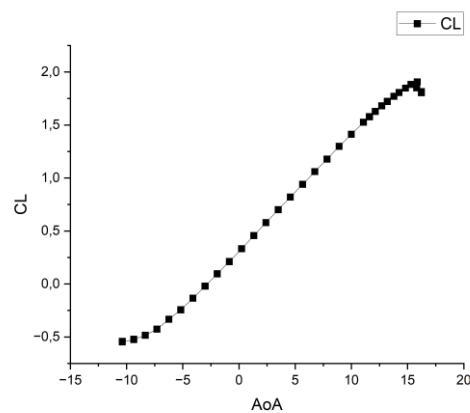
Gambar 2. Setup pengujian

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian aerodinamika model pesawat amfibi berkapasitas 19 orang dengan *wind tunnel* dengan menggunakan *external balances* disajikan dalam bentuk koefisien gaya yang merupakan parameter kesetaraan non-dimensional.

3.1. Karakteristik Gaya Angkat Pesawat Amfibi berkapasitas 19 Orang

Nilai koefisien gaya angkat (CL) terhadap sudut serang (α) hasil pengujian model pesawat amfibi berkapasitas 19 orang dengan *wind tunnel*, menggambarkan konfigurasi sudut defleksi tail horizontal dan vertikal bernilai nol atau kondisi clean terlihat nilai CL membesar sesuai kenaikan sudut serang yang dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:

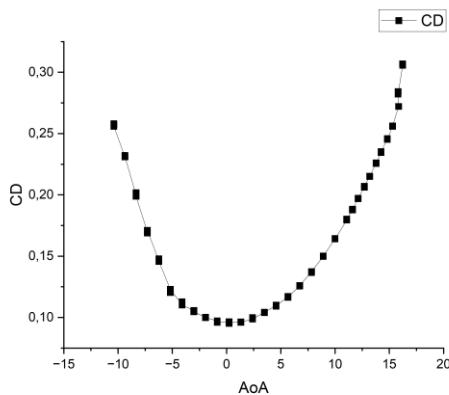


Gambar 3. Grafik CL dengan variasi angle of attack

3.2. Karakteristik Gaya Hambat Pesawat Amfibi berkapasitas 19 Orang

Nilai koefisien gaya hambat (CD) terhadap sudut serang (α) hasil pengujian model pesawat amfibi berkapasitas 19 orang dengan *wind tunnel*, menggambarkan konfigurasi sudut defleksi tail horizontal dan vertikal bernilai nol atau

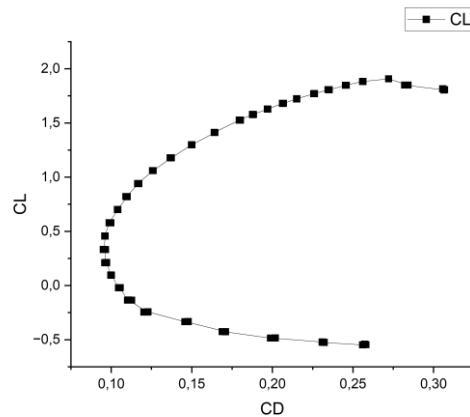
kondisi *clean* terlihat nilai CD nya membesar sesuai kenaikan selisih sudut serang terhadap 0 seperti dapat dilihat pada Gambar 4:



Gambar 4. Grafik Cd dengan variasi angle of attack

3.3. Karakteristik Aerodinamika Pesawat Amfibi berkapasitas 19 Orang

Nilai acuan performa pada saat terbang optimal ditunjukkan pada kondisi kurva rasio gaya angkat terhadap gaya hambat (CL/CD)



Gambar 5. Grafik Cl dengan variasi angle of attack

4. Kesimpulan

Penelitian performa aerodinamika pesawat amfibi berkapasitas 19 orang menggunakan *wind tunnel* mendapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- Pesawat amfibi berkapasitas 19 orang akan kehilangan gaya angkat atau mengalami stall pada sudut serang $15,81^\circ$.
- Pesawat amfibi berkapasitas 19 orang memiliki slope gaya hambat yang rendah sebesar 0,0951 pada sudut serang $0,23^\circ$.
- Dari hasil karakterisasi aerodinamika, geometri pesawat amfibi berkapasitas 19 orang menghasilkan koefisien gaya angkat yang relatif kecil, dan memiliki koefisien gaya angkat pada kondisi stall sebesar 1,9068.

5. Daftar Pustaka

- [1] R. Cribb and M. Ford, "INDONESIA AS AN ARCHIPELAGO: MANAGING ISLANDS, MANAGING THE SEAS." [Online]. Available: www.thecanadianencyclopedia.com/,
- [2] S. Sunarti, "Transportation Limitation Access to the Small Islands (Case Study: Banggai Laut Regency)," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Feb. 2018. doi: 10.1088/1755-1315/123/1/012018.
- [3] K. Karyawan *et al.*, "Hydrodynamic Characteristics for Catamaran Floatplane in Taxiing Conditions," *International Review of Aerospace Engineering (IREASE)*, vol. 17, no. 1, p. 1, Feb. 2024, doi: 10.15866/irease.v17i1.24489.
- [4] F. F. Buscariolo *et al.*, "Analysis of Turbulence Models Applied to CFD Drag Simulations of a Small Hatchback Vehicle Analysis of Turbulence Models Applied to CFD Drag Simulations of a Small Hatchback Vehicle Marc Wolf," 2018.

-
- [5] A. Aunurrofik, "The Effect of Air Transportation on Regional Economic Development: Evidence from Indonesian Regencies," *Signifikan: Jurnal Ilmu Ekonomi*, vol. 7, Jan. 2018, doi: 10.15408/sjie.v7i1.6178.
 - [6] Z. Wang, Z. Gong, S. Mao, Z. Zhou, Y. Chen, and T. Zhang, "Short Takeoff and Landing Strategy for Small-Scale Thrust-Vectoring Vertical/Short Takeoff and Landing Vehicles," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 17, Sep. 2022, doi: 10.3390/app12178449.
 - [7] N. J. Ashford, S. Mumayiz, and P. H. Wright, *Airport Engineering: Planning, Design, and Development of 21st Century Airports: Fourth Edition*. 2011. doi: 10.1002/9780470950074.
 - [8] N. Koo and C. Yang, "DESIGN OF WIND TUNNEL (FLUID FLOW ANALYSIS) CORE View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk provided by UMP Institutional Repository," 2012.
 - [9] J. B. Barlow, W. H. Rae, A. Pope, and A. Pope, *Low-speed wind tunnel testing*. Wiley, 1999.
 - [10] Y. Daryanto, G. Wijiatmoko, M. Eng, and D. Kuswandi, "Pengujian Aerodinamika model Pesawat Udara Nir Awak-PUNA di Wind Tunnel LAGG BPPT."
 - [11] J. Zhu, Z. Shi, J. Fu, and J. Chen, "Aerodynamic characteristics of hypersonic airfoils based on jet flow control technology," *AIP Adv*, vol. 11, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.1063/5.0033779.
 - [12] T. Nurcahyadi, "PENGARUH LOKASI KETEBALAN MAKSIMUM AIRFOIL SIMETRIS TERHADAP KOEFISIEN ANGKAT AERODINAMISNYA," 2008.
 - [13] Z. U. D. Taj, A. Bilal, M. Awais, S. Salamat, M. Abbas, and A. Maqsood, "Design exploration and optimization of aerodynamics and radar cross section for a fighter aircraft," *Aerospace Sci Technol*, vol. 133, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.ast.2023.108114.
 - [14] O. Reynolds, "An Experimental Investigation of the Circumstances Which Determine Whether the Motion of Water Shall Be Direct or Sinuous, and of the Law of Resistance in Parallel Channels," 1883.
 - [15] R. S. Subramanian, "Reynolds Number."
 - [16] V. Uruba, "Reynolds number in laminar flows and in turbulence," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jun. 2019. doi: 10.1063/1.5114728.