

Penggunaan *Flight Data Logger* untuk Menganalisis Dampak Modifikasi *Seaplane* pada Kinerja *Take Off* Cessna PK-APH: Studi Komparasi

Muhammad Nur Cahyo Hidayat Nasrullah ¹, Gatut Rubiono ², Sabam Danny Sulung ¹, Hadi Prayitno ^{1*}

¹Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi,
Kompleks Bandar Udara Internasional Banyuwangi, Jl. Pantai Blimbingsari, Dusun Krajan, Blimbingsari, Kec.
Rogojampi, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia 68462

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi
Jl. Ikan Tongkol No.22, Kertosari, Kec. Banyuwangi, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia 68416

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan *take off performance* antara pesawat yang telah dimodifikasi menjadi pesawat *seaplane* (*amfibi*) dan pesawat Cessna standar sebelum dimodifikasi. Komparasi dilakukan menggunakan data dari *flight data recorder* Garmin G1000 dengan *flight data logger*. Data yang dipilih adalah berdasarkan pada satu pesawat yang sama, yakni dengan registrasi PK-APH, namun data difilterisasi dengan berbagai kondisi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan oleh modifikasi *seaplane* (*amfibi*) yang telah dilakukan dari segi fase *climbing*, perbandingan *ground roll*, maksimal *ground speed* serta maksimal *airspeed*. Analisis menunjukkan perbedaan signifikan antara pesawat sebelum dan setelah dimodifikasi menjadi pesawat *seaplane*. Sebelum modifikasi, pesawat mencapai ketinggian 478,4 kaki di atas permukaan laut dalam 60 detik setelah lepas landas, sedangkan setelah modifikasi hanya mencapai 355,7 kaki di atas permukaan laut. *Ground speed* pada detik ke-20 juga berbeda, dengan pesawat sebelum modifikasi mencapai 60,69 knots dan pesawat *seaplane* hanya mencapai 48,65 knots. Perbedaan terlihat pada *airspeed* awal saat *take-off*, di mana pesawat sebelum modifikasi memiliki angka 71 knots pada detik ke-24, sedangkan pesawat *seaplane* memiliki angka 66 knots.

Kata kunci: *take off performance; amphibious seaplane; Cessna 172S; flight data recorder; aircraft*

Abstract

[**Title: Utilizing Flight Data Logger for Analyzing the Impact of Seaplane Modification on Takeoff Performance of Cessna PK-APH: A Comparative Study**] This research was conducted to compare the take off performance between aircraft modified to become seaplanes (amphibians) and standard Cessna aircraft before being modified. Comparisons were made using data from the Garmin G1000 flight data recorder with a flight data logger. The data selected is based on the same aircraft, namely with PK-APH registration, but various conditions filter the data. This research aims to determine the impact caused by seaplane (amphibious) modifications that have been carried out in terms of climbing phase, ground roll ratio, maximum ground speed, and maximum airspeed. Analysis shows significant differences between the aircraft before and after being modified into a seaplane. Before the modification, the plane reached a height of 478.4 feet above sea level within 60 seconds after takeoff, whereas after the modification, it only reached 355.7 feet above sea level. The ground speed at the 20th second is also different, with the aircraft before modification reaching 60.69 knots and the seaplane only reaching 48.65 knots. The difference can be seen in the initial airspeed at takeoff, where the aircraft before modification had a figure of 71 knots in the 24th second, while the seaplane had a figure of 66 knots.

*) Penulis Korespondensi.
E-mail: hadi.stpi@gmail.com

Keywords: *take off performance; amphibious seaplane; Cessna 172S; flight data recorder; aircraft*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan kepulauan yang luas dan memiliki potensi wisata laut yang besar. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk memudahkan akses ke destinasi pariwisata di Indonesia. Dalam konteks ini, *seaplane* muncul sebagai opsi terbaik untuk membantu pemerintah dalam membuka akses pariwisata Indonesia. Opsi ini akan memberikan peluang tempat wisata alam yang biasanya sulit diakses oleh kendaraan bermotor, bus, kereta api, dan bahkan pesawat darat agar dapat dijangkau dengan lebih mudah menggunakan pesawat amfibi (Canamar & Smrcek, 2009).

Uji coba perancangan pesawat amfibi telah dilakukan. Pesawat Cessna 172S yang dimiliki oleh Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi dimodifikasi dengan penambahan *floatkit* dan *landing gear* sehingga dapat berperan sebagai pesawat amfibi. Prinsip inti dari operasi pesawat amfibi adalah memberikan kemampuan untuk beralih dengan efisien antara lingkungan perairan dan darat, serta sebaliknya (Qiu & Song, 2016). Dikarenakan modifikasi yang dilakukan, maka *take off performance* perlu mendapatkan perhatian khusus (Seth & Liem, n.d.).

Take-off merupakan salah satu tahap dari tiga tahapan penting dalam operasi penerbangan adalah lepas landas (*take-off*), jelajah (*cruising*), dan mendarat (*landing*). *Takeoff* dan *landing* merupakan tahapan yang sangat rentan terjadinya kecelakaan (Damayanti & Widianty, 2020; Fadholi, 2013; Rao & Puranik, 2018). Lokasi kecelakaan pesawat yang berada di dalam bandara yang sering terjadi adalah di daerah landasan pacu atau *runway* baik pada saat pesawat akan melakukan lepas landas (*take off*) maupun pada saat melakukan pendaratan (*landing*) (Saputra, 2017). Kecelakaan yang melibatkan pesawat yang keluar dari landasan pacu selama fase pendaratan sering terjadi dan dapat mengakibatkan cedera dan kerugian ekonomi. Menurut statistik, ada 626 kecelakaan dalam penerbangan sipil di seluruh dunia dari tahun 1959 hingga 2019 (García & Quintero, 2011). Untuk mengatasi jumlah kecelakaan yang banyak terjadi di landas pacu, Internasional Civil Aviation Organization (ICAO) mengeluarkan kebijakan yang harus diterapkan di seluruh bandar udara di dunia dengan membentuk *runway safety team* yang anggotanya melibatkan sejumlah pakar dari berbagai disiplin ilmu (Pakan, 2019).

Lepas landas dan mendarat adalah fase kritis dan paling sulit dari penerbangan pesawat. Hal ini diperlukan untuk menilai kelayakan lepas landas dan mendarat dengan massa aktual pesawat di bawah kondisi cuaca aktual dan landasan pacu tertentu (Melnichuk et al., 2021). Lepas landas pesawat telah dikaji dari efek turbulen (Connor & Kearney, 2018), kontrol mundur karena gaya geser angin (Golubev et al., 2019), identifikasi dan analisis (Kwasiborska & Stelmach, 2013), faktor kebisingan (Faiyetole & Toyin, 2019), lepas

landas dan mendarat dengan *ground based power* (Majka et al., 2014), optimasi performa lepas landas (Riboldi et al., 2022), hingga simulasi pendaratan pesawat Cassa 212 (K et al., 2011). Penelitian tentang lepas landas dan pendaratan pesawat secara bersamaan juga telah dilakukan, antara lain terkait permasalahan dan hambatan implementasi konsep aplikasi Maglev (Rohacs & Rohacs, 2018), bentuk gelombang dari perspektif pusat penerbangan (Li & Chen, 2018), metode *short takeoff landing* (Syamsuar, 2015), pengembangan *expert system* (Melnichuk et al., 2021), strategi lepas landas dan mendarat untuk mengurangi biaya operasional dan *delay* penumpang (García & Quintero, 2011).

Eksplorasi performa dan upaya peningkatan kinerja pesawat *seaplane* telah dilakukan. Penelitian oleh Masri et al. (2019) membahas metode analisis yang beragam digunakan untuk memprediksi *aircraft performance* amfibi (*seaplane*) dengan tujuan mengidentifikasi kelemahan tiap metode dan memperluas pendekatan analitis untuk mencakup unsur nonlinier seperti ketidakstabilan. Penelitian lain oleh Wen et al. (2022) membahas bagaimana kecepatan perjalanan dan kondisi gelombang laut memengaruhi karakteristik pergerakan pesawat amfibi di atas permukaan gelombang laut. Wen menggunakan pendekatan simulasi numerik untuk memodelkan dinamika pesawat amfibi yang meluncur di atas gelombang laut, serta menganalisis pengaruh variasi kecepatan perjalanan, panjang gelombang, dan tinggi gelombang terhadap karakteristik hambatan, gerakan *heave*, dan *pitch* pada pesawat.

Beberapa peneliti juga telah mengkaji dampak hidrodinamika terhadap pesawat. Studi ini diantaranya dilakukan oleh Jiang et al. (2018) dan Wang et al. (2020). Akan tetapi, hingga saat ini belum ada penelitian yang secara khusus memfokuskan pada performa lepas landas (*take off*) pesawat amfibi setelah mengalami modifikasi. Untuk memperdalam pemahaman tentang dampak modifikasi terhadap pesawat amfibi dalam upaya peningkatan keselamatan penerbangan, maka analisis kinerja lepas landas dengan membandingkan pesawat Cessna 172S yang sama, yakni PK-APH, sebelum dan setelah dipasang *floatkit*. Hal ini didasari oleh pemahaman bahwa modifikasi akan berdampak pada performa pesawat (P. Liem, 2018). Oleh karena itu, penjelasan yang spesifik mengenai dampak modifikasi terhadap kinerja lepas landas (*take off performance*) menjadi penting dan relevan.

Penelitian ini menyajikan metode komparasi dengan memanfaatkan fitur yang menyerupai *flight data recorder* yang dimiliki oleh avionik pesawat Cessna 172S (Garmin Ltd., 2011). Sistem ini mampu merekam berbagai parameter penerbangan seperti kecepatan, ketinggian, dan posisi pesawat dalam interval tiap satu detik (Comer et al., 2020). Data tersebut dapat diunduh dan dianalisis menggunakan format *Excel*, sehingga



Gambar 1. Pesawat Cessna (a) sebelum dimodifikasi dan (b) sesudah dilakukan modifikasi

sangat membantu dalam penelitian untuk membandingkan performa pendaratan melalui analisis data penerbangan yang terekam oleh pemantauan data penerbangan Garmin (Kobayashi et al., 2019a). Selain itu, pemantauan data penerbangan ini telah digunakan oleh para peneliti untuk memperoleh berbagai hasil analisis, seperti faktor-faktor yang terkait dengan operasi pesawat (Dlugiewicz & Markowski, 2019), korelasi antara tingkat pengalaman pilot dengan insiden tak terduga pada mesin (Kobayashi et al., 2019b), hingga peningkatan keselamatan penerbangan melalui analisis data penerbangan (Comer et al., 2020).

2. Metode dan Bahan
2.1. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Akademi Penerbang Indonesia (API) Banyuwangi yang merupakan sekolah pilot dibawah Kementerian Perhubungan. API Banyuwangi memiliki 35 armada Cessna 172S. Dua diantara pesawat yang ada, yakni pesawat dengan

registrasi PK-APH dan PK-APO, dimodifikasi menjadi *seaplane* agar dapat digunakan latihan calon pilot hingga memperoleh sertifikat *seaplane class rating*. Pesawat registrasi PK-APH dipilih sebagai sampel data karena pesawat ini telah dimodifikasi sejak 8 oktober 2021 dan masih aktif terbang saat data diambil yakni 12 juni 2023, sehingga data yang diambil menjadi lebih akurat. Tampilan pesawat PK-APH sebelum dan setelah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada dasarnya seluruh pesawat API Banyuwangi telah dilengkapi dengan sistem kelistrikan pesawat milik Garmin G1000, yang memiliki fitur penyimpanan data krusial secara *realtime* setiap detik, yang akan berfungsi manakala MFD (*multi functional display*) diaktifkan. Fitur ini disebut dengan *flight data logger*. Data pada Tabel 1 menampilkan parameter yang ditangkap oleh *flight data logger* Garmin. Gambar 2 menampilkan tangkapan layar yang lebih jelas dari salah satu *file flight data logger* yang dibuka menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Data ini dianalisis untuk

Tabel 1. Daftar parameter data (Garmin Ltd., 2011)

Parameter	Parameter	Parameter
date	Latitude (geodetic; +North)	GPS fix
time	Longitude (geodetic; +East)	GPS horizontal alert limit
GPS altitude	Magnetic Heading (degrees)	GPS vertical alert limit
GPS altitude (WGS84 datum)	HSI source	SBAS GPS
Baro-Corrected altitude (feet)	Selected course	Fuel Qty (right & left)(gals)
Baro Correction (in/Hg)	Com1/Com2 frequency	Fuel Flow (gph)
Indicated airspeed (kts)	Nav1/Nav2 frequency	Fuel Pressure (psi)
Vertical speed (fpm)	CDI deflection	Voltage 1 and/or 2
GPS vertical speed (fpm)	VDI/GP/GS deflection	Amps 1 and/or 2
OAT (degrees C)	Wind Direction (degrees)	Engine RPM
True airspeed (knots)	Wind Speed (knots)	Oil Pressure (psi)
Pitch Attitude Angle (degrees)	Active Waypoint Identifier	Oil Temperature (deg. F)
Roll Attitude Angle (degrees)	Distance to next waypoint	TIT (deg. F)
Lateral and Vertical G Force (g)	Bearing to next waypoint	Manifold Pressure (in. Hg)
Ground Speed (kts)	Magnetic variation (degrees)	CHT
Lateral and Vertical G Force (g)	Autopilot On/Off	EGT
Ground Speed (kts)	AFCS roll/pitch modes	
Ground Track (degrees)	AFCS roll/pitch commands	

1	DATE	TIME LOCAL	TIME UTC	Colu	Column5	Column6	ALTITUDE BARO	BARO PRESSURE	ALT MEAN	OAT	IAS	GNDSPD	VRTICAL SI	PITCH ATT
2	#airframe_info	log_version="1.00"	airframe_name=	unit_sc	unit_software_v	system_software	system_id="256C3C	mode=NORMAL						
3	#yyy-mm-dd	hh:mm:ss	hh:mm	ident	degrees	degrees	ft Baro	inch	ft msl	deg C	kt	kt	fpm	deg
4	Lcl Date	Lcl Time	UTCOfst	AtvWp	Latitude	Longitude	AltB	BaroA	AltMSL	OAT	IAS	GndSpd	VSpd	Pitch
5	2023-05-30	06:40:47	+00:00		-8.5093260	114.3776627	15.1	29.83	-5.6	35.5	0.00	5.21	-33.12	5.28
6	2023-05-30	06:40:47	+00:00		-8.5093241	114.3776627	15.1	29.83	-5.6	35.5	0.00	5.19	-29.29	5.24
7	2023-05-30	06:40:48	+00:00		-8.5093050	114.3776627	17.1	29.83	-5.7	35.5	0.00	5.13	12.02	5.26
8	2023-05-30	06:40:49	+00:00				17.1	29.83		35.2	0.00		33.55	5.61
9	2023-05-30	06:40:50	+00:00		-8.5092640	114.3776932	19.1	29.83	-5.6	35.2	0.00	5.27	57.85	6.31
10	2023-05-30	06:40:51	+00:00		-8.5092392	114.3777008	22.1	29.83	-5.5	35.2	0.00	5.93	91.52	7.65
11	2023-05-30	06:40:52	+00:00		-8.5092077	114.3777237	25.1	29.83	-5.5	35.0	0.00	7.50	144.46	9.29
12	2023-05-30	06:40:53	+00:00		-8.5091686	114.3777466	26.1	29.83	-5.3	35.0	0.00	9.17	140.32	8.60
13	2023-05-30	06:40:54	+00:00		-8.5091238	114.3777771	27.1	29.83	-5.3	35.0	0.00	10.67	92.83	8.48
14	2023-05-30	06:40:55	+00:00		-8.5090761	114.3778000	24.1	29.83	-5.2	35.0	0.00	11.70	28.08	8.27
15	2023-05-30	06:40:56	+00:00		-8.5090342	114.3778305	20.1	29.83	-5.3	34.8	0.00	10.73	-95.39	8.01
16	2023-05-30	06:40:57	+00:00		-8.5090008	114.3778458	19.1	29.83	-5.3	34.8	0.00	8.84	-125.10	8.23
17	2023-05-30	06:40:58	+00:00		-8.5089750	114.3778610	18.1	29.83	-5.4	34.8	0.00	7.06	-109.71	8.27
18	2023-05-30	06:40:59	+00:00		-8.5089540	114.3778687	18.1	29.83	-5.4	34.5	0.00	5.62	-72.62	7.11
19	2023-05-30	06:41:00	+00:00		-8.5089350	114.3778915	17.1	29.83	-5.3	34.5	0.00	4.67	-45.40	4.97

Gambar 2. Tangkapan layar rekaman flight data logger

membandingkan dampak modifikasi *seaplane* pada kinerja *take off* pada pesawat PK-APH.

Secara garis besar, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode campuran (*mixed methods approach*). Metode ini dipilih dengan mempertimbangkan proses yang diperlukan untuk mengambil data dari fitur yang dimiliki Garmin G1000. Pendekatan ini melibatkan dua tahap dimana data berkualitas dikumpulkan pada tahap awal, dan hasil dari tahap ini membuka peluang untuk merancang tahap berikutnya, dengan menggunakan pendekatan kualitatif (Pitcher, 2022). Pendekatan ini diciptakan untuk memungkinkan peneliti menjelaskan data kualitatif melalui hasil-hasil kuantitatif. Tahap kualitatif dalam penelitian ini terjadi saat data penerbangan dikumpulkan dan disesuaikan, sementara tahap kedua muncul ketika hasil-hasil dianalisis menggunakan hasil-hasil kuantitatif yang dihimpun dari observasi (Kobayashi et al., 2019a).

Data yang direkam oleh *flight data logger* disimpan dalam format .CSV melalui *SD Card* yang terpasang pada MFD. Data ini selanjutnya akan dianalisis

secara manual menggunakan *software Microsoft excel*. File dengan format .CSV ini berisi ratusan kolom yang menginterpretasikan data krusial yang terekam setiap detiknya. *SD Card* pesawat PK-APH telah menyimpan 1826 file dengan format .CSV yang tersimpan sejak penerbangan pertama dilakukan, hingga penerbangan terakhir saat data diambil yakni tanggal 12 Juni 2023 dengan total *flight hours* 1518 jam. Rincian data ini adalah: 1393 data pesawat sebelum dimodifikasi dan 433 data sesudah modifikasi, Ilustrasi metodologi pada penelitian ini dijabarkan pada Gambar 3.

Dari ribuan berkas .CSV yang tersedia kemudian dilakukan seleksi untuk menemukan dua berkas yang relevan. Berkas pertama mewakili data penerbangan pesawat sebelum dimodifikasi menjadi *seaplane* yakni rekaman data penerbangan yang dilakukan pada tanggal 9 Maret 2020, sementara berkas kedua mewakili data setelah proses modifikasi pada penerbangan tanggal 22 Desember 2022. Seleksi berkas .CSV dilakukan melalui proses penyaringan yang mematuhi kondisi yang telah ditetapkan. Penelitian ini menggunakan tanggal data yang



Gambar 3. Alur penelitian

telah ditetapkan, untuk memastikan bahwa data yang dianalisis sesuai dengan kondisi pesawat sebelum atau setelah modifikasi. Pemilihan waktu penerbangan. Pemilihan waktu penerbangan yang tepat sangat penting dalam penelitian ini. Hal ini dilakukan untuk mengurangi perbedaan kondisi lingkungan di sekitar bandara yang dapat memengaruhi proses *take off*.

Data yang diambil juga memperhatikan kesamaan suhu udara luar (*Outside Air Temperature/OAT*), yakni antara 29 °C hingga 32 °C. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa perbandingan kinerja *take off* antara pesawat yang telah dimodifikasi dan sebelum dimodifikasi berada dalam kondisi suhu yang sebanding. Pemilihan landasan pacu atau *runway* dilakukan secara konsisten, dengan fokus pada pesawat yang sedang melakukan lepas landas dari landasan pacu Bandara Blimbingsari di Banyuwangi dengan kode ICAO WADY. *Wind data* meliputi kecepatan angin (*wind speed*) dan arah angin (*wind direction*) dipastikan seragam. *Fuel remaining* atau bahan bakar yang berada di tanki kanan dan kiri ketika *take off*, masing-masing adalah 15-16 US gallon. Pilot dan co-pilot atau awak kru disesuaikan, yakni berjumlah dua orang tanpa penumpang pada *passenger seat*, agar tetap menjaga keseragaman data.

Selanjutnya dilakukan pengambilan nilai kecepatan pesawat saat berada di *ground* (*ground speed*), kecepatan pesawat terhadap arah angin (*air speed*), serta ketinggian pesawat (*altitude*). Data-data ini kemudian dianalisis dengan menggabungkan informasi dari berbagai sumber yang dibutuhkan pada *flight data log*, sehingga dapat ditemukan momentum yang relevan. Hasil dari analisis ini selanjutnya dilaporkan pada bagian pembahasan guna mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam.

2.2. Teknik pengolahan dan pengumpulan data

Setelah dua file dengan format .CSV yang memenuhi syarat telah ditentukan, tahapan selanjutnya adalah pengumpulan dan pengolahan data. Hal ini dilakukan agar dapat menjawab permasalahan pada penelitian ini. Artikel ini akan membahas tentang perbedaan *altitude*, grafik *lift off* (dimulainya pesawat terangkat dari landasan pacu), *ground speed* hingga *airspeed*. Data *altitude* diambil dari *altitude mean sea level* pada file .CSV. Pengambilan angka *altitude* dimulai ketika pesawat sedang dalam proses *line up* di *runway*. Proses *line up* ditandai dengan indikator *heading* pesawat, *revolution per minute* (RPM) *engine*, hingga *fuel flow indicator*. *Lift off* ditampilkan untuk mengetahui perbandingan ketika roda pendaratan pesawat terangkat dari permukaan landasan pacu. Hasil visualisasi data ini diperoleh dengan mengambil data *altitude* ketika pesawat sudah dalam posisi *line up* namun dibatasi hingga pada detik ke 60 dari pengambilan nilai *altitude* pertama.

Pengambilan data *ground speed* dimulai ketika nilai dari *ground speed* menunjukkan angka nol ketika *line up*, hingga pada detik ketika *altitude* pesawat mulai menunjukkan posisi *lift off*. Adapun data *airspeed* diambil ketika nilai *airspeed* pada file .CSV mulai menunjukkan angka nol pertama kali hingga pada detik ke 60. Seluruh data yang telah terkumpul kemudian dikelompokkan, dibuatkan grafik, dan dianalisis.

3. Hasil dan Pembahasan

Sejak penerbangan pesawat PK-APH pertama kali pada tahun 2017, telah terkumpul ribuan berkas data dengan format .CSV, dengan jumlah total 1518 jam terbang. Data-data ini kemudian disaring untuk dipilih dua *file* rekaman penerbangan yang mewakili satu *shortie* penerbangan. Dari data ini kemudian diolah menjadi pembahasan untuk mendukung analisa mengenai pengaruh modifikasi pesawat *seaplane* terhadap *take off performance*.

3.1. Perbandingan *altitude* tertinggi dalam fase *climbing*

Gambar 4 menampilkan hasil perbandingan waktu tempuh dari kedua set data terhadap peningkatan ketinggian (*altitude*). Ini menggambarkan perbedaan ketinggian maksimum yang dapat dicapai oleh kedua subjek dalam waktu yang telah ditetapkan. Batasan waktu dimulai dari saat pesawat bersiap untuk lepas landas, yang ditandai oleh nilai *ground speed* mencapai angka nol hingga mencapai *altitude* tertinggi dalam fase pendakian atau *climbing*. Dari Gambar 4 juga dapat dilihat bahwa pesawat PK-APH yang telah mengalami modifikasi menjadi *seaplane* menunjukkan peningkatan ketinggian yang lebih lambat. Dalam rentang waktu 60 detik setelah *take off*, pesawat modifikasi mencapai ketinggian sebesar 478,4 kaki di atas permukaan laut. Di sisi lain, pesawat PK-APH sebelum dimodifikasi mencapai ketinggian 355,7 kaki di atas permukaan laut dalam waktu yang sama. Berdasarkan data yang diperoleh, kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa modifikasi dengan penambahan *floatkit* memberikan dampak terhadap laju *climbing* pesawat. Fenomena ini dapat sebagian dijelaskan melalui konsep gaya hambat yang dihasilkan sebagai akibat dari peningkatan luas penampang yang terkena angin pada pesawat setelah modifikasi dilakukan (Czyż et al., 2018).

Secara konseptual, gaya hambat (D) yang bekerja pada suatu objek, dalam hal ini pesawat, dapat dihitung menggunakan rumus gaya hambat (*Fdrag*) pada Persamaan 1.

$$F_{drag} = \frac{1}{2} C_d \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 \quad (1)$$

dimana: $[\rho]$ adalah densitas udara, $[V]$ adalah kecepatan pesawat terhadap aliran udara, $[C_d]$ adalah koefisien *drag* objek, $[A]$ adalah luas penampang pesawat yang terkena aliran udara (Ashrafee et al., 2014).

Ketika pesawat dimodifikasi dengan penambahan *floatkit*, luas penampang yang terkena aliran udara meningkat, yang tercermin dalam nilai $[A]$. Oleh karena itu, koefisien drag $[Cd]$ juga akan mengalami perubahan. Perubahan ini berdampak pada peningkatan gaya hambat, yang kemudian berkontribusi pada upaya pesawat dalam meningkatkan ketinggian. Kondisi ini terjadi karena modifikasi seaplane menyebabkan luas penampang yang ditabrak oleh angin yang mengalir pada pesawat menjadi lebih besar sehingga menimbulkan daya hambat yang dapat mengganggu pesawat untuk meningkatkan *altitude* (Gemba, 2007; Williams et al., 1999).

3.2. Perbandingan ground roll

Pada penelitian ini, proses lepas landas dievaluasi melalui analisis data waktu dan ketinggian pesawat. Fokus pada pengambilan data ini adalah momen pertama kali roda pendaratan terangkat dari permukaan landasan pacu. Pemahaman ini esensial karena pada titik ini pesawat mulai mengembangkan gaya angkat yang cukup untuk meninggalkan permukaan landasan. Data waktu lepas landas juga memberikan informasi penting terkait jarak yang mungkin dibutuhkan untuk lepas landas. Waktu lepas landas memiliki implikasi signifikan, terutama dalam situasi landasan yang pendek. Kehadiran pesawat yang mampu mencapai lepas landas dalam jarak lebih singkat dapat menjadi keuntungan, terutama pada landasan pendek. Selain itu, waktu lepas landas yang lebih singkat juga berkontribusi pada mengurangi risiko kecelakaan, seperti terjadinya keluar landasan pacu atau *runway excursion* (Calle-Alonso et al., 2019).

Data penerbangan yang tercatat dalam *flight data logger* dijelaskan pada Gambar 5. Grafik ini menggambarkan bahwa setelah pesawat dimodifikasi menjadi *seaplane*, waktu dan jarak yang diperlukan untuk mencapai lepas landas mengalami peningkatan. Temuan

ini konsisten dengan analisis sebelumnya, dimana *drag* yang ditingkatkan akibat modifikasi menyebabkan pesawat membutuhkan jarak yang lebih panjang untuk mencapai kondisi lepas landas. Faktor ini memengaruhi posisi waktu ketika pesawat mencapai lepas landas.

Dampak modifikasi ini terlihat pada Gambar 5. Sebelum dimodifikasi, pesawat Cessna PK-APH dapat mencapai lepas landas pada detik ke-26, sedangkan setelah dimodifikasi menjadi *seaplane* momen lepas landas terjadi pada detik ke-31. Data ini sejalan dengan pembahasan pada Gambar 4. Sehingga dapat disimpulkan bahwa modifikasi yang dilakukan pada pesawat *seaplane* dapat mempengaruhi waktu lepas landas. Penting untuk ditekankan bahwa semua data yang diambil telah diperlakukan dengan pendekatan seragam, yaitu melibatkan penggunaan daya mesin maksimal sebesar 100% yang menghasilkan putaran *propeller* puncak dalam jumlah yang setara. Pendekatan ini dipilih dengan alasan bahwa fase lepas landas memerlukan eksploitasi penuh dari daya yang tersedia pada pesawat. Jadi, semua pengambilan data dilakukan ketika momen *full power*. Daya pada *engine* saat *full power* dapat menjadi acuan untuk memastikan bahwa putaran *propeller* mencapai titik maksimal yang konstan selama setiap pengambilan data pada *flight data logger*.

3.3. Perbandingan maksimal ground speed

Ground speed pesawat adalah ukuran berapa kecepatan pesawat bergerak relatif terhadap permukaan bumi. *Ground speed* mencakup komponen horizontal dari kecepatan pesawat sebenarnya dan mempertimbangkan dampak dari kecepatan angin di sekitarnya. Dengan kata lain, *ground speed* mengindikasikan seberapa cepat pesawat benar-benar menjelajahi jarak pada tingkat permukaan bumi sebelum *lift off* (Gagliardi et al., 2018). Oleh karena itu dalam pengumpulan data *ground speed*,



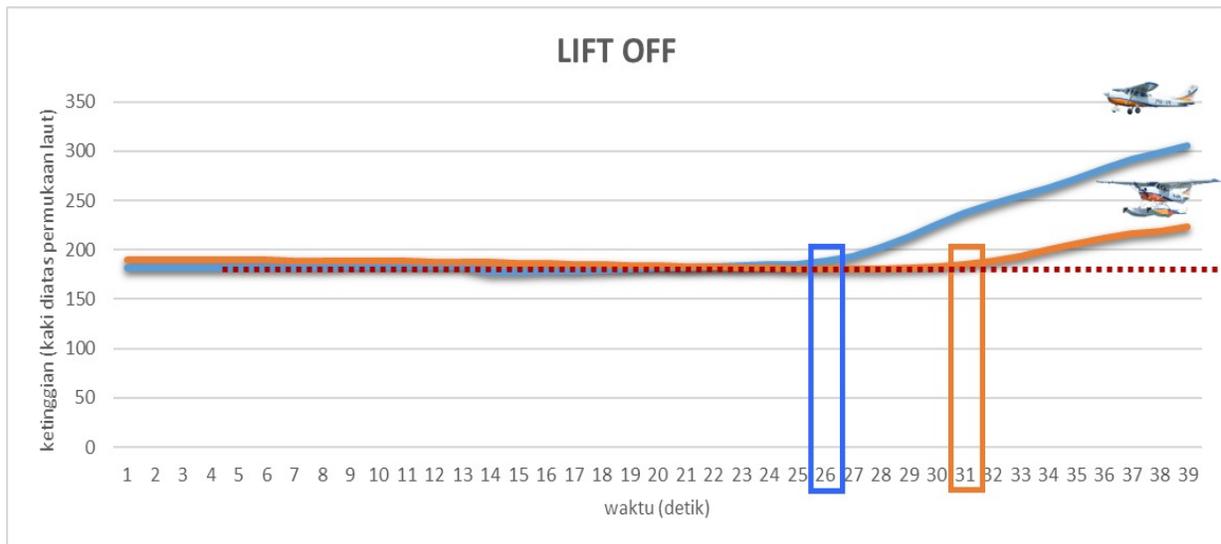
Gambar 4. Altitude saat fase climbing

batasan waktu diterapkan setelah pesawat mencapai titik *lift off* atau roda pesawat mulai terangkat dari landasan. Hal ini dilakukan untuk mengamati dan membandingkan kecepatan maksimal pesawat setelah pesawat mulai mengambil posisi di landasan pacu hingga proses *take off* sebenarnya dimulai.

Gambar 6 menunjukkan grafik hasil *ground speed* ketika kedua pesawat memulai proses *take off*. Keadaan *fuel flow* saat momen ini dicari yang sama yakni di sekitar 15 US gallon per hour. Pesawat Cessna PK-APH setelah dimodifikasi mengalami *ground speed* yang lebih rendah dibandingkan sebelum dimodifikasi. Setelah dimodifikasi menjadi pesawat seaplane maksimal *ground speed* hingga detik ke 20 adalah 48,65 knots sedangkan pesawat sebelum dimodifikasi mendapatkan maksimal *ground speed* sebesar 60,69 knots di waktu yang sama yakni 20 detik setelah pesawat *line up*. Oleh karena itu, pesawat seaplane membutuhkan waktu dan jarak yang

lebih lama untuk *take off* dari pada pesawat Cessna standar sebelum dimodifikasi. Hal ini disebabkan karena gaya dorong dari *propeller* yang dihasilkan kurang efisien dibandingkan dengan pesawat Cessna standar sebelum dimodifikasi. Sesuai dengan *supplement type certificate* yang diberikan oleh WIPAIR selaku pabrikan *float kit* yang dipasang pada pesawat PK-APH, pada bagian engine pesawat seaplane tidak dilakukan peningkatan daya mesin.

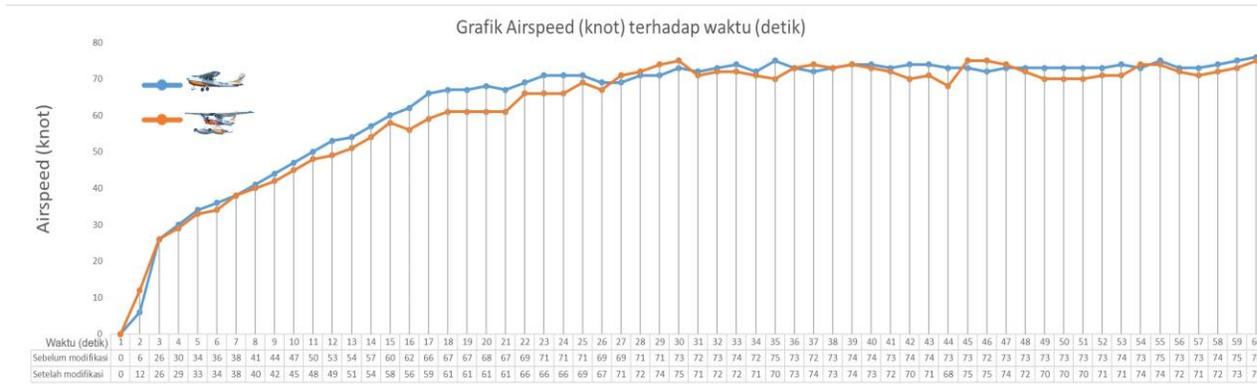
Engine yang dipakai oleh *seaplane* masih sama dengan pesawat Cessna standar yang tidak dimodifikasi yakni Lycoming IO-360-L2A dengan 360 horse power. Hal inilah yang berpotensi dapat mengurangi *ground speed* maksimal yang diperoleh, dikarenakan dengan penambahan *float kit* yang menyebabkan profil pesawat menjadi lebih besar dan cenderung untuk meningkatkan *drag* (Gemba, 2007). Namun pada *supplement type certificate propeller* pada *seaplane* diubah menjadi lebih



Gambar 5. Waktu yang dibutuhkan saat fase *lift off*



Gambar 6. *Ground speed* saat fase *take of*



Gambar 7. Airspeed saat fase climbing

lebar, hal ini dapat juga menambahkan *trust* yang didapat, sehingga perbedaan maksimal ground speed antara pesawat PK-APH setelah dan sebelum dimodifikasi tidak begitu besar.

3.4. Perbandingan maksimal airspeed

Berbeda dengan *ground speed*, *airspeed* adalah kecepatan relatif pesawat terhadap angin yang mengenai pada sensor instrumentasi pengukur kecepatan pesawat yang disebut dengan *pitot tube*. *Airspeed* mengindikasikan kecepatan pesawat ketika mengudara. Pada pembahasan ini, visualisasi data *airspeed* dilakukan dengan membandingkan dari kedua set data dengan berfokus pada angka awal *airspeed* yang tercatat dalam *flight data logger*. Dengan demikian dapat diketahui runtutan peningkatan *airspeed* dari fase *climbing*. Dengan mempertimbangkan angka awal *airspeed* serta dukungan informasi dari indikator *fuel flow* pada *flight data logger*, maka dapat diketahui *power setting* yang digunakan oleh pilot saat itu. Sehingga dari analisis ini, visualisasi perbandingan *airspeed* yang lebih akurat dapat ditampilkan.

Gambar 7 menampilkan *airspeed* maksimal yang diperoleh oleh kedua pesawat. Dengan keadaan pesawat yang hampir sama, pesawat sebelum dimodifikasi lebih unggul dari detik pertama hingga detik ke 24, dengan titik maksimal *airspeed* adalah 71 knots. Sedangkan kondisi pesawat setelah dimodifikasi, memberikan hasil yakni pada detik ke 24 memperoleh 66 knots. Namun dapat diketahui dari Gambar 7 bahwa setelah detik ke 26 angka maksimal *airspeed* dari kedua data set yang diperoleh melalui *flight data logger* cenderung memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Pesawat standar awalnya memiliki *airspeed* yang lebih tinggi, namun setelah detik tersebut, *airspeed* keduanya mulai mendekati angka yang serupa, hingga kemudian nilai angka maksimal *airspeed* pesawat modifikasi menjadi lebih unggul pada detik 27 – 30.

Saat lepas landas, pesawat *seaplane* mengalami peningkatan *altitude* yang lebih rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Akan tetapi pesawat

seaplane memiliki *airspeed* yang hampir setara dengan pesawat standar. Penjelasan untuk hal ini adalah, untuk menjaga *airspeed* yang diperlukan, laju kenaikan pesawat akan dikurangi oleh pilot. Pengurangan laju kenaikan pesawat artinya pengurangan sudut serang pesawat (*angle of attack*). Semakin tinggi *angle of attack* menyebabkan semakin meningkatnya *coefficient drag*, sehingga dapat mengurangi *airspeed* pesawat (Deeb, 2021). Inilah sebabnya mengapa pada momen tertentu ketika *climb* pesawat *seaplane* memiliki *airspeed* yang hampir serupa dengan pesawat standar, meskipun menghadapi gaya hambat yang lebih besar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ditemukan bahwa modifikasi pesawat Cessna PK-APH menjadi pesawat *seaplane* berdampak signifikan terhadap *take-off performance*. Data menunjukkan perbedaan yang jelas, dimana pesawat sebelum dilakukan modifikasi dapat mencapai ketinggian 478,4 kaki di atas permukaan laut dalam 60 detik setelah lepas landas, sementara setelah dilakukan modifikasi hanya mencapai ketinggian 355,7 kaki di atas permukaan laut. Selain itu, pesawat *seaplane* membutuhkan jarak lepas landas yang lebih panjang, yang berdampak pada kemampuan lepas landas dalam jarak singkat. *Ground speed* pada detik ke-20 menunjukkan perbedaan yang signifikan, dengan pesawat sebelum modifikasi mencapai 60,69 knots dan pesawat *seaplane* hanya mencapai 48,65 knots. Perbedaan juga terlihat pada *airspeed* awal *take off*, yang mana pesawat sebelum modifikasi memiliki angka 71 knots pada detik ke-24, sedangkan pesawat *seaplane* memiliki angka 66 knots. Hasil analisis juga menemukan bahwa, meskipun pesawat *seaplane* memiliki daya hambat yang lebih besar akibat modifikasi fisiknya, indikator kecepatan udara (*airspeed*) cenderung memiliki perbedaan yang tidak signifikan pada fase tertentu dari data sampel penerbangan yang diambil.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Akademi Penerbang Indonesia Banyuwangi yang telah menyediakan objek penelitian serta memberikan support berupa pendanaan sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan sebagaimana mestinya. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Prof. Ir.Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D, IPM, selaku dosen pengampu mata kuliah Publikasi Ilmiah Pasca Sarjana Teknik Mesin Universitas Jember.

Daftar Pustaka

Ashrafee, F., Morsalin, S., & Rezwan, A. (2014). Design and fabrication of a solar powered toy car. *2014 International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEEICT.2014.6919041>

Calle-Alonso, F., Pérez, C. J., & Ayra, E. S. (2019). A Bayesian-Network-based Approach to Risk Analysis in Runway Excursions. *Journal of Navigation*, 72(5), 1121–1139. <https://doi.org/10.1017/S0373463319000109>

Comer, A. M., Swartz, S., & Chakraborty, I. (2020, June 15). Data-Driven General Aviation Aircraft Performance Modeling and Safety Research. *AIAA AVIATION 2020 FORUM*. <https://doi.org/10.2514/6.2020-3097>

Connor, A. O., & Kearney, D. (2018). Evaluate the effect of turbulence on aircraft during landing and take-off phases. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 5(4), 0–15. <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2018.1284>

Czyż, Z., Karpiński, P., Gęca, M., & Diaz, J. (2018). The Air Flow Influence on The Drag Force of a Sports Car. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 12(2), 121–127. <https://doi.org/10.12913/22998624/86213>

Damayanti, L., & Widianty, D. (2020). Evaluasi Panjang dan Arah Landas Pacu Di Bandar Udara Sultan Muhammad Kaharuddin Sumbawa. *Spektrum Sipil*, 7(1), 21–32.

Deeb, R. (2021). Experimental and numerical investigation of the effect of angle of attack on air flow characteristics around drop-shaped tube. *Physics of Fluids*, 33(6). <https://doi.org/10.1063/5.0053040>

Dlugiewicz, P., & Markowski, J. (2019). Analysis of operational parameters of the Cirrus SR22T aircraft for identification of deviations from standard operating procedures. *Transportation Research*

Procedia, 40, 1297–1304. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.180>

Fadholi, A. (2013). Studi Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara Terhadap Daya Angkat Pesawat Di Bandara Sultan Babullah Ternate (1981-2008). *Forum Ilmiah*, 10(1), 90–97.

Faiyetole, A. A., & Toyin, I. T. (2019). Predicting the aircraft take-off noise level. *Vibroengineering Procedia*, 22(March 2019), 129–134. <https://doi.org/10.21595/vp.2019.20588>

Gagliardi, P., Teti, L., & Licitra, G. (2018). A statistical evaluation on flight operational characteristics affecting aircraft noise during take-off. *Applied Acoustics*, 134, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.12.024>

García, A. H., & Quintero, E. M. (2011). Strategy for attending takeoffs and landings to reduce the aircraft operating costs and the passenger delays. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 11(2), 219–233. <https://doi.org/10.18757/ejtr.2011.11.2.2923>

Garmin Ltd. (2011). *Integrated Flight Deck Cockpit Reference Guide Cessna Nav III: Vol. Rev. A*.

Gemba, K. L. (2007). *Shape effects on drag*. <https://www.researchgate.net/publication/330684511>

Golubev, A. E., Botkin, N. D., & Krishchenko, A. P. (2019). Backstepping control of aircraft take-off in windshear. *IFAC-PapersOnLine*, 52(16), 712–717. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.046>

Jiang, R., Wu, B., Zhang, K., & Li, C. (2018). Experimental study on the effect of landing gear fairing on amphibious aircraft. *2018 IEEE 8th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications (USYS)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/USYS.2018.8779217>

K, A. H., Suyatno, A., & Rahayu, J. (2011). Simulasi Pendaratan Pesawat Terbang Jenis Cassa 212 Menggunakan Logika Fuzzy. *Jurnal EKSPONENSIAL*, 2(1), 1–10.

Kobayashi, T., Bowen, B. D., Roggow, B. J., Kobayashi, T., Bowen, B. D., & Roggow, B. (2019a). *Flight Data Analysis: A Mixed Methodology Construct*.

Kobayashi, T., Bowen, B. D., Roggow, B. J., Kobayashi, T., Bowen, B. D., & Roggow, B. (2019b). *Flight Data Analysis: A Mixed Methodology Construct*. <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1147&context=student-works>

Kwasiborska, A., & Stelmach, A. (2013). Identification and Analysis Take-Off Aircraft Operations. *Journal of KONES. Powertrain and Transport*, 20(4), 201–208. <https://doi.org/10.5604/12314005.1137617>

Li, X., & Chen, X. (2018). Research on Aviation Hub from Perspective of Flight Take-off and Landing

- Waveforms. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 189(6), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/189/6/062018>
- Majka, A., Ground, I., & Control, M. (2014). Aircraft take-off and landing with ground-based power. *Logistyka*, 6(2014), 6999–7006.
- Masri, J., Dala, L., & Huard, B. (2019). A review of the analytical methods used for seaplanes' performance prediction. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91(6), 820–833. <https://doi.org/10.1108/AEAT-07-2018-0186>
- Melnichuk, A. V., Nesterov, V. A., Sudakov, V. A., & Sypalo, K. I. (2021). Production expert system to determine aircraft take-off and landing performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1027(1), 1–3. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1027/1/012018>
- P. Liem, R. (2018). Review of Design Aspects and Challenges of Efficient and Quiet Amphibious Aircraft. *Journal of Physics: Conference Series*, 1005, 012027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1005/1/012027>
- Pakan, W. (2019). Faktor Penyebab Kecelakaan Penerbangan Di Landas Pacu. *Warta Penelitian Perhubungan*, 26(3), 169–176. <https://doi.org/10.25104/warlit.v26i3.879>
- Pitcher, S. E. (2022). Analysis of Unmanned Aircraft Systems Sightings Reports: Determination of Factors Leading to High Sighting Reports. *Unmanned Systems*, 10(03), 205–239. <https://doi.org/10.1142/S2301385022500121>
- Qiu, L., & Song, W. (2016). Efficient Multiobjective Optimization of Amphibious Aircraft Fuselage Steps with Decoupled Hydrodynamic and Aerodynamic Analysis Models. *Journal of Aerospace Engineering*, 29(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)as.1943-5525.0000557](https://doi.org/10.1061/(asce)as.1943-5525.0000557)
- Rao, A. H., & Puranik, T. G. (2018, June 25). Retrospective Analysis of Approach Stability in General Aviation Operations. *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*. <https://doi.org/10.2514/6.2018-3049>
- Riboldi, C. E. D., Cacciola, S., & Ceffa, L. (2022). Studying and Optimizing the Take-Off Performance of Three-Surface Aircraft. *Aerospace*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/aerospace9030139>
- Rohacs, J., & Rohacs, D. (2018). Problems and Barriers Impeding the Implementation of MagLev Assisted Aircraft Take-Off and Landing Concept. *Journal of Transportation Technologies*, 08(02), 91–118. <https://doi.org/10.4236/jtts.2018.82006>
- Saputra, A. D. (2017). Studi Analisis Penyebab Runway Excursion di Indonesia Berdasarkan Data Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) Tahun 2007-2016. *Warta Ardhia*, 43(2), 93–104. <https://doi.org/10.25104/wa.v43i2.305.93-104>
- Seth, A., & Liem, R. P. (n.d.). *Takeoff analysis of amphibious aircraft with implementation of a hydrofoil*. <http://lisa-airplanes.com/en/light-amphibious-aircraft-akoya/>
- Syamsuar, S. (2015). Metoda Short Takeoff Landing (Studi Kasus Prestasi Terbang Takeoff-Landing Pesawat Udara Turbo Prop CN235). *Warta Ardhia: Jurnal Perhubungan Udara*, 41(2), 49–58.
- Wang, L., Yin, H., Yang, K., Liu, H., & Zhu, J. (2020). Water takeoff performance calculation method for amphibious aircraft based on digital virtual flight. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33(12), 3082–3091. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.03.019>
- Wen, Q., Cheng, Z., Deng, R., & Yang, K. (2022). *Influence of Wave Parameters on Taxiing Characteristics of Seaplane* (pp. 347–358). https://doi.org/10.1007/978-981-19-9198-1_26
- Williams, J., Barlow, J., & Ranzenbach, R. (1999, March 1). *Experimental Study of CD Variation With Aspect Ratio*. <https://doi.org/10.4271/1999-01-0649>