



STUDI TEORITIS KINERJA PROPELLER MESIN PESAWAT TANPA AWAK (UAV) DENGAN VARIASI PITCH PROPELLER UNTUK OPTIMALISASI GAYA *THRUST*

Afif Faishal^{1a}, Nur Akdis¹, Ari Mukti Wibowo¹, Furqaan Harjanto¹, Agung Supriyanto², Hafizt Bagus Pambudi¹, Muhammad Fadhlani¹, Dega Rofiyantama¹

^{1a}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

²Program Studi Diploma Tiga Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

af515@ums.ac.id

ABSTRAK

Kinerja pesawat tanpa awak atau unmanned aerial vehicle (UAV) sangat dipengaruhi oleh gaya dorong propeller, yang secara langsung memengaruhi daya angkat pesawat di udara. Gaya dorong propeller pada UAV ini dikenal juga dengan gaya *thrust*. Berbagai faktor, seperti dimensi, desain propeller, daya mesin UAV, dan kondisi pengoperasian, memengaruhi gaya *thrust* yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian dengan membandingkan kinerja propeller sangat penting untuk mengetahui gaya *thrust* terbaik yang mampu dicapai. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja propeller dengan perhitungan teoritis pada variasi pitch propeller 7, 8, 9, 10, 11, 12 (Inch) dengan diameter propeller 16 Inch. Perhitungan teoritis didasarkan pada konsep gaya dan perubahan momentum fluida yang melewati propeller. Perhitungan teoritis tersebut divalidasi oleh eksperimen pengujian *thrust* dengan metode *Ground Test* pada propeller 16x10 (Diameter x Pitch Propeller) untuk mengetahui kesesuaian perhitungan teoritis dengan eksperimen. Eksperimen dilakukan pada rangkaian uji *thrust* dengan mesin UAV pada variasi putaran mesin 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 (Rpm). Validasi ini berguna untuk memastikan bahwa model perhitungan yang digunakan dapat merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *thrust* tertinggi dihasilkan pada propeller dengan pitch 12 inch dengan putaran mesin 7000 Rpm, yaitu sebesar 5,1358 Kgf. Data keseluruhan menjelaskan bahwa pada peningkatan pitch propeller dan putaran mesin menunjukkan adanya kenaikan gaya *thrust* yang dihasilkan. Propeller dengan pitch 7 dan 12 pada putaran mesin 2000 Rpm menunjukkan *thrust* sebesar 0,320 Kgf dan 0,418 Kgf berturut-turut. Selain itu, peningkatan putaran mesin juga mendorong kenaikan *thrust* sebagaimana ditunjukkan hasil pada propeller dengan pitch 7 dan 12 pada 7000 Rpm menjadi 3,922 Kgf dan 5,135 Kgf berturut-turut. Pitch propeller yang lebih besar ini memungkinkan propeller memindahkan lebih banyak udara dalam setiap putaran. Demikian juga dengan putaran mesin yang meningkat akan memperkuat dorongan setiap propeller terhadap udara sekeliling yang dilaluinya.

Kata kunci: pesawat tanpa awak, propeller, pitch, gaya dorong

ABSTRACT

The performance of unmanned aerial vehicles (UAVs) is significantly determined by propeller power, which directly impacts the aircraft's lift in the atmosphere. The propeller thrust on this UAV is referred to as thrust. The thrust force generated is influenced by multiple elements, including size, propeller design, UAV engine

power, and operating conditions. Consequently, investigating propeller performance through comparison is crucial for identifying the optimal thrust force attainable. This study was undertaken to investigate propeller performance with theoretical calculations on propeller pitch variations of 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 (Inch) with a propeller diameter of 16 Inch. Theoretical calculations were validated through thrust testing procedures utilizing the Ground Test method on a 16x10 propeller (Diameter x Pitch) to assess the alignment of theoretical predictions with experimental results. The experiment involved a series of thrust experiments conducted on a UAV engine at varying engine speeds of 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, and 7000 RPM. This validation is useful to ensure that the calculation model used can represent real conditions in the field. The research results show that the highest thrust is produced by a propeller with a pitch of 12 inches and an engine speed of 7000 Rpm, which is 5.1358 Kgf. The increase in propeller pitch and engine speed showed an increase in the thrust force produced. Propellers with pitch 7 and 12 at 2000 Rpm engine speed show a thrust of 0.320 Kgf and 0.418 Kgf, respectively. In addition, increasing engine speed also drives an increase in thrust, as shown by the results on the propeller with pitch 7 and 12 at 7000 Rpm to 3.922 Kgf and 5.135 Kgf, respectively. This larger propeller pitch allows the propeller to move more air in each rotation. Likewise, increasing engine speed will strengthen the thrust of each propeller against the surrounding air it passes through.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Propeller, Pitch, Thrust

1. PENDAHULUAN

Pesawat tanpa awak, juga dikenal sebagai UAV, telah berkembang pesat dan semakin banyak digunakan di berbagai industri. UAV sangat berguna karena mudah digunakan dan dapat mencapai lokasi yang sulit dijangkau. Sektor keamanan memanfaatkannya untuk pengawasan dan pengintaian udara, dan sektor pertanian menggunakannya untuk pemetaan lahan, pengawasan pertumbuhan tanaman, dan penyemprotan pestisida. Pesawat tanpa awak juga sering dimanfaatkan untuk survei dan pemetaan proyek, dan lingkungan untuk memantau bencana alam dan perubahan iklim [1]. Kemajuan teknologi terus mendorong pengembangan UAV dengan fitur yang semakin canggih, yang membuka potensi aplikasi yang semakin luas di masa depan. Hal ini menjadikan topik penelitian tentang pesawat tanpa awak sangat menarik untuk dikembangkan.

Salah satu bagian terpenting dalam sebuah mesin pesawat tanpa awak adalah baling-baling, atau sering dikenal dengan propeller. Propeller yang dirancang dengan baik akan memaksimalkan gaya dorong (*thrust*), mengurangi konsumsi energi, dan meningkatkan daya jelajah UAV. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya memberikan gambaran bahwa propeller mampu mempengaruhi gaya dorong mesin pesawat tanpa awak [2]. Penelitian tersebut mengungkapkan bahwa propeller 6x3 menghasilkan *thrust* sebesar 3,874 N, sedangkan propeller dengan dimensi lebih besar yaitu 10x7 menghasilkan *thrust* sebesar 13,194 N. Demikian juga telah disampaikan pada penelitian lain terkait dengan optimasi bilah pada turbin, bahwa rancangan desain yang tepat akan menghasilkan bilah yang memiliki performa yang baik [3]. Dalam rangka meningkatkan kinerja propeller pesawat tanpa awak, studi komprehensif tentang karakteristik propeller, seperti ukuran, desain dan bahan, sangat penting untuk dilakukan. Di sisi lain, kinerja propeller UAV memengaruhi berbagai aspek, termasuk kemampuan manuver, stabilitas dan kapasitas beban yang diangkut. Propeller yang tidak berfungsi dengan baik dapat menyebabkan getaran berlebihan, suara BISING, dan penurunan kinerja pada kecepatan tertentu. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja keseluruhan UAV, studi tentang kinerja propeller menjadi sangat penting.

Berbagai penelitian terkait dengan kinerja pesawat tanpa awak telah dilakukan. Penelitian dengan topik konstruksi wahana pesawat tanpa awak berbasis ardupilot memberikan penjelasan bahwa angin sangat berpengaruh saat pesawat take off dan bermanuver di udara [4]. Hal ini tentu menjadi perhatian bahwa propeller maupun desain pesawat perlu mendapatkan perhatian khusus karena komponen tersebut sangat krusial dan bersinggungan langsung dengan udara sebagai faktor eksternal kinerja pesawat. Penelitian lain dengan mengoptimalkan desain propeller mesin pesawat tanpa awak juga telah dilakukan untuk mengurangi kebisingan dan meningkatkan *thrust* yang dapat dihasilkan oleh propeller [5,6]. Hasil penelitian menjelaskan bahwa winglet ke atas propeller lebih bising daripada base propeller, dan winglet ke belakang propeller menghasilkan tingkat kebisingan yang cenderung konstan. Selain itu, diketahui bahwa kecepatan mesin (Rpm) juga berpengaruh terhadap tingkat kebisingan yang dihasilkan propeller mesin pesawat tanpa awak.

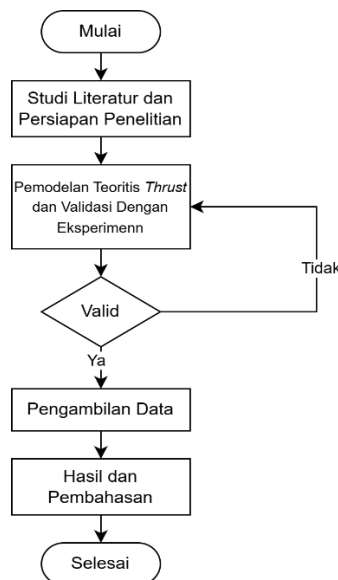
Pendekatan yang komprehensif, yang menggabungkan perhitungan eksperimental dan teoritis, dapat digunakan untuk menilai kinerja propeller pesawat tanpa awak. Penelitian sebelumnya terkait dengan kinerja turbin propeller pada

variasi pitch dengan model teoritis telah dilakukan [7]. Perhitungan dan model simulasi dapat dimanfaatkan untuk memprediksi kinerja propeller, khususnya terkait dengan *thrust* yang mampu dihasilkan. Pemodelan juga sering dilakukan untuk menganalisis desain airfoil yang optimal untuk diimplementasikan pada sayap pesawat maupun berbagai aplikasi lainnya [8]. Pemodelan dapat dilakukan dengan metode perhitungan teoritis maupun simulasi dengan software tertentu. Pada penelitian ini, model perhitungan teoritis yang dibuat untuk memprediksi kinerja propeller juga perlu divalidasi dengan kondisi sebenarnya pada eksperimen. Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa model yang dibuat dapat merepresentasikan kondisi nyata yang terjadi di lapangan. Penelitian lain berkaitan dengan bentuk airfoil juga pernah dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap koefisien lift dan drag [9]. Hasil menunjukkan adanya pengaruh bentuk airfoil terhadap koefisien lift. Airfoil yang diposisikan dalam aliran udara dapat menghasilkan gaya aerodinamika yang efektif [10]. Hal ini juga dapat menjadi referensi bahwa bentuk airfoil pada propeller memiliki dampak terhadap kinerjanya.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan teoritis gaya *thrust* pada propeller mesin pesawat tanpa awak pada variasi pitch propeller. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dan dimensi propeller yang paling optimal untuk mesin pesawat tanpa awak. Model perhitungan teoritis juga divalidasi dengan hasil eksperimen pada salah satu jenis propeller untuk memastikan bahwa perhitungan teoritis memiliki kesesuaian dengan kondisi nyata. Propeller yang mampu menghasilkan gaya *thrust* optimal dapat menjadi referensi dalam melakukan pemilihan propeller untuk diimplementasikan pada mesin pesawat tanpa awak.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan model perhitungan teoritis gaya *thrust* propeller mesin pesawat tanpa awak. Model perhitungan teoritis divalidasi terlebih dahulu dengan hasil eksperimen pada propeller 16x10. Setelah itu dilakukan perhitungan teoritis *thrust* pada variasi pitch propeller 7, 8, 9, 10, 11, 12 (Inch). Secara umum, diagram alir penelitian digambarkan pada **Gambar 1**:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Model Perhitungan Teoritis

Gaya dorong propeller adalah gaya yang dihasilkan oleh baling-baling pesawat tanpa awak karena interaksi antara profil baling-baling dengan aliran fluida di sekitarnya, dalam hal ini udara. Secara teoritis, gaya dorong dapat dihitung dengan menggunakan konsep dasar gaya (F) dan melihat perubahan momentum fluida yang melewati baling-baling. Dalam melakukan perhitungan ini, sangat penting untuk memahami konsep hidrodinamika seperti lift, drag, dan

momentum. Pada penelitian ini, pitch propeller divariasikan untuk memperoleh dimensi propeller yang optimal untuk menghasilkan gaya thrust. Pitch propeller adalah suatu besaran yang menunjukkan jarak aksial yang ditempuh oleh propeller dalam satu kali putaran penuh. Dalam hal ini, pitch propeller berkaitan dengan seberapa banyak udara yang bersinggungan dengan propeller dalam satu kali putaran penuh [11]. Adapun rumus teoritis untuk menghitung thrust adalah sebagai berikut:

$$F = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{m dv}{dt} = m \times a \quad (1)$$

$$F = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{dm}{dt} v = m' \times a \quad (2)$$

$$F = m'Ve \quad (3)$$

$$m' = \rho A Ve \quad (4)$$

$$Ve = \omega \times r \quad (5)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (6)$$

dimana:

F= Force (N)

m= mass (Kg)

v= Velocity (m/s)

t= time (s)

m= mass flow rate (kg/s)

Ve= Exit Velocity air molekul through propeller

ρ = Air density (kg/m³)

A= Area (m²)

r= Pitch (m)

d= Diameter (m)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

Sehingga diperoleh rumus teoritis static perhitungan gaya thrust adalah sebagai berikut [12]:

$$F = 1,205 \times \frac{\pi (0,0254 \times d)^2}{4} \times \left(RPM \times 0,0254 \times pitch \times \frac{1min}{60sec} \right)^2 \times \left(\frac{d}{3,31546 \times pitch} \right)^{1,5} \quad (7)$$

2.2 Langkah-langkah Eksperimen Uji Thrust

Penelitian dilakukan dengan eksperimen dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan pengujian.
2. Memasang propeller yang akan diuji pada poros yang telah terhubung mesin.
3. Menghidupkan force gauge dan tachometer yang telah terpasang pada test bed.
4. Melakukan kalibrasi Arduino dengan Force Gauge. Apabila sudah sesuai maka dilanjutkan, apabila belum sesuai maka kalibrasi diulang.
5. Menyalakan mesin dengan cara memutar propeller berlawanan arah jarum jam.

6. Menaikkan throttle menggunakan controller hingga pada tachometer menunjukkan angka 2000 Rpm.
7. Membaca data gaya *thrust* melalui arduino untuk dicatat.
8. Mengambil data *thrust* pada putaran mesin 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 Rpm.

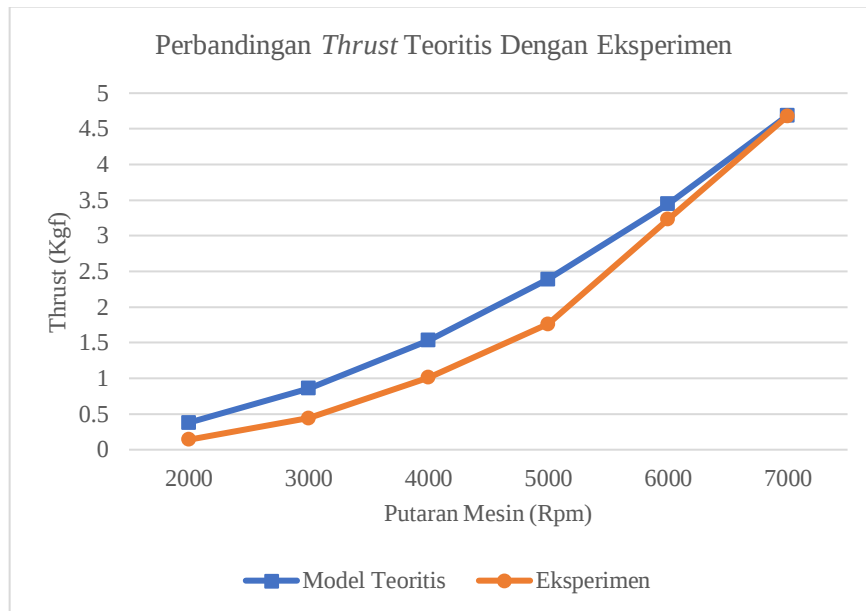
2.3 Variabel Penelitian

Variabel bebas pada penelitian ini adalah pitch propeller dan putaran mesin. Pitch propeller divariasikan pada 7, 8, 9, 10, 11, 12 (Inch) dan putaran mesin divariasikan pada 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 (Rpm). Sedangkan **variabel terikat** pada penelitian ini adalah gaya thrust yang dihitung pada perhitungan teoritis dalam satuan Kilogram Force (Kgf).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi Model Dengan Eksperimen Pada Propeller 16x10

Salah satu langkah penting untuk memastikan bahwa hasil simulasi numerik benar-benar sesuai dengan keadaan nyata adalah validasi model propeller. Ini dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan dengan data eksperimen pada propeller 16x10 dan menentukan sejauh mana model numerik mampu memprediksi kinerja propeller. Validasi ini penting untuk meningkatkan kepercayaan terhadap hasil simulasi dan membantu dalam membuat keputusan tentang desain propeller yang lebih baik. Hasil perbandingan perhitungan thrust dengan eksperimen pada propeller 16x10 dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:

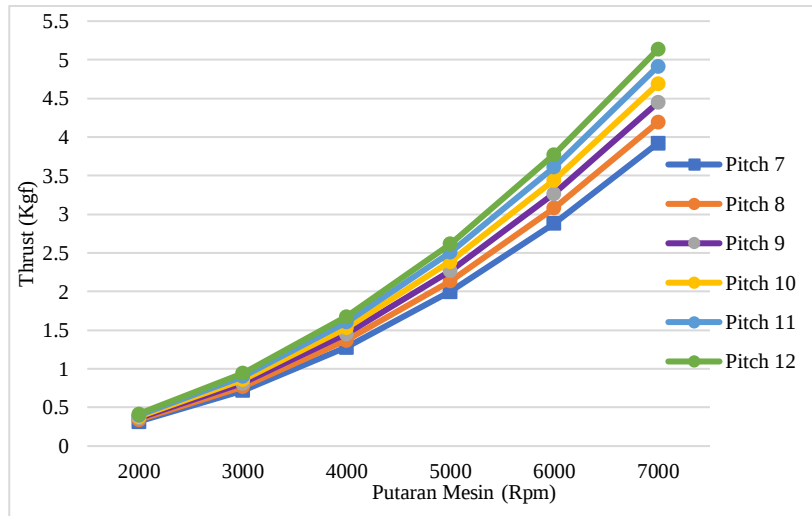


Gambar 2. Perbandingan *Thrust* Teoritis Dengan Eksperimen Pada Propeller 16x10

Berdasarkan hasil perbandingan thrust teoritis dengan hasil eksperimen pada propeller 16x10 di atas, dapat diketahui bahwa gaya thrust yang dihasilkan pada masing-masing tersebut menunjukkan tren yang sama. Peningkatan putaran mesin (Rpm) diikuti dengan peningkatan gaya thrust yang dihasilkan. Namun, terdapat selisih dan perbedaan hasil thrust eksperimen dengan perhitungan teoritis. Hal ini disebabkan beberapa parameter pada kondisi nyata yang belum terakomodasi dalam perhitungan teoritis. Meskipun demikian, perhitungan teoritis yang dibuat dapat dianggap telah mampu merepresentasikan kondisi nyata thrust propeller pada putaran mesin 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, dan 7000 (Rpm).

3.2 Hasil Perhitungan Teoritis Pada Variasi Pitch Propeller dan Putaran Mesin

Perhitungan teoritis dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter yang terlibat dalam menghasilkan gaya thrust dari putaran mesin dan propeller yang direncanakan. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan hasil yang ditunjukkan gambar 3 berikut:



Gambar 3. Gaya Thrust Pada Variasi Pitch Propeller dan Putaran Mesin

Berdasarkan data yang telah diperoleh, diketahui bahwa propeller dengan pitch 12 inch menunjukkan hasil gaya thrust paling tinggi dibandingkan propeller lainnya. Gaya thrust tertinggi dihasilkan pada propeller dengan pitch 12 inch pada putaran mesin 7000 Rpm, yaitu sebesar 5,1358 Kgf. Perubahan pitch propeller dari 7 hingga 12 berkorelasi positif dengan jumlah thrust yang dihasilkan. Selain itu, hasil perhitungan thrust juga menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Peningkatan thrust berdasarkan putaran mesin dialami pada seluruh variasi pitch propeller di penelitian ini. Hasil tersebut mengungkapkan bahwa gaya thrust meningkat seiring dengan peningkatan putaran mesin pesawat tanpa awak.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi positif antara nilai pitch propeller dengan besarnya gaya dorong (thrust) yang dihasilkan. Peningkatan pitch propeller dari 7 hingga 12 Inch pada penelitian ini menunjukkan tren peningkatan gaya *thrust* yang dihasilkan. Data penelitian menunjukkan *thrust* terbesar dihasilkan pada propeller dengan pitch 12 inch dan putaran mesin 7000 Rpm, yaitu sebesar 5,1358 Kgf. Sedangkan *thrust* terendah dihasilkan pada pitch 7 inch dengan putaran mesin 2000 Rpm, yaitu 0,320 Kgf. Hasil perhitungan juga menunjukkan pada seluruh variasi pitch propeller terhadap peningkatan putaran mesin menunjukkan kenaikan gaya *thrust* yang dihasilkan. Peningkatan gaya *thrust* ini diketahui disebabkan oleh sudut serang yang lebih besar pada setiap bilah propeller. Hal tersebut memungkinkan propeller untuk memindahkan volume udara yang lebih besar dalam setiap putaran mesin.

Penelitian berikutnya diharapkan mampu menguji secara eksperimental terhadap variasi pitch propeller dan putaran mesin tersebut untuk dapat menganalisis kesesuaian seluruh model perhitungan terhadap kondisi nyata di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Riset dan Inovasi UMS yang telah mendukung dan mendanai penelitian ini melalui skema Riset Kompetitif (RIKOM) dengan nomor kontrak 302.31/A.3-III/LRI/VIII/2024. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pustekbang, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), yang telah memberikan fasilitas untuk penulis dalam belajar dan melakukan eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Warsito T. Perkembangan Drone untuk pemetaan dan pemanfaatannya dalam bidang infrastruktur permukiman. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan* 2021;9.

- [2] Sihaan JCR, Munawir A, Husin Z. Analisis Gaya Dorong (Thrust) Propeller Pada Pesawat Model Remote Control (Uav). *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi* 2022;8:135–42.
- [3] Augustiantyo B, Setiawan R. Optimasi Desain Bilah dengan Metode Linearisasi Chord dan Twist terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin* 2021;22:97–110.
- [4] Saroinsong HS, Poekoel VC, Manembu PD. Rancang Bangun Wahana Pesawat Tanpa Awak (Fixed Wing) Berbasis Ardupilot. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer* 2018;7:73–84.
- [5] Sunarto SFM, Fatra O, Alfaridzi AY. Analisis Pengaruh Winglet pada Propeller Uav terhadap Thrust dan Kebisingan yang Dihasilkan. *JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI)* 2022;6:71–86.
- [6] Masniarman M. Kajian Awal Optimalisasi Disain Propeler Pesawat Tanpa Awak untuk Mendapatkan Karakteristik Rendah Bising Berdasarkan Penurunan Noise Generation Mechanisme dengan Bantuan Simulasi Aliran Fluida 2012.
- [7] Pribadyo P, Hadiyanto H, Jamari J. Simulasi Performa Turbin Propeller Dengan Sudut Pitch Yang Divariasikan. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi* 2020;6:54–63.
- [8] Sarjito, Aklis N, Hartanto T. An optimization of flap and slat angle airfoil NACA 2410 using CFD. *AIP Conference Proceedings* 2017;1831:020038. <https://doi.org/10.1063/1.4981179>.
- [9] Hartanto T, Sarjito I, Nur Aklis S. Analisa Aerodinamika Flap dan Slat pada Airfoil NACA 2410 terhadap Koefisien Lift dan Koefisien Drag dengan Metode Computational Fluid Dynamic 2015.
- [10] Perdana DWA, Effendy M. Studi Numerik dan Eksperimen Aerodinamika Airfoil NACA 24112. *Creative Research in Engineering (CERIE)* 2021;1:1–11.
- [11] McAndrew IR, Navarro E, Witcher K. Propeller design requirements for quadcopters utilizing variable pitch propellers. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing* 2018;6:51.
- [12] Stapples G. Propeller Static & Dynamic Thrust Calculation. *Propeller Static & Dynamic Thrust Calculation* 2014:1–2.