



Pengujian Aerodinamis Manufaktur 3D Printing Model Sayap Variasi Aspek Rasio Menggunakan Digital Subsonic Wind Tunnel AF100

(Aerodynamic Testing of 3D Printing Wing Model Manufacturing with Aspect Ratio Variations Using The AF100 Digital Subsonic Wind Tunnel)

Qorinna Rahma Malika Sutarto¹, M. Abdul Ghofur², Bondhan Firmanto³

^{1,2,3} Prodi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara

E-mail: qorinnarahmalika@gmail.com, m_abdulghofur@aau.ac.id, bonduitbiz@gmail.com

Abstract— *An Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is an aerial machine operated by an operator from the ground that have various functions, both military and non-military functions, for example as a surveillance function. This study aims to determine the best aerodynamic performance of aircraft wings against surveillance drones with aspect ratio variations. The research implementation procedure was carried out using the AF100 Digital Subsonic Wind Tunnel. The aircraft wing model to be analyzed is the NACA 2812 aircraft wing model with aspect ratio variations of 2.07 and 3.8, and 7.34. Wing modeling was carried out using FreeCAD software and printed using the Creality Ender 2 Pro 3D Printer. The results obtained from the research show that at a speed of 10 m/s and an angle of attack of 10° the wing model with aspect ratio variation of 2.07 has a lift value of 0.34 N which is greater than the wing model with aspect ratio variations of 3.8 and 7.34 with the same speed and angle of attack. So the result of this study is that the airfoil NACA 2812 with aspect ratio variation of 7.34 has better performance than the wing model with other aspect ratio variations.*

Keywords— *3D Printer, Airfoil, Digital Subsonic Wind Tunnel AF100, Lift, Drag*

Abstrak— *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) merupakan suatu mesin udara yang dioperasikan oleh operator melalui ground yang memiliki berbagai fungsi, baik fungsi militer maupun non militer, sebagai contoh sebagai fungsi pemantauan (surveillance). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa aerodinamis terbaik dari sayap pesawat terhadap surveillance drone dengan variasi aspek rasio. Prosedur pelaksanaan penelitian dilaksanakan menggunakan Digital Subsonic Wind Tunnel AF100. Model sayap pesawat yang akan dianalisa yaitu model sayap pesawat NACA 2812 dengan variasi aspek rasio 2,07 dan 3,8, serta 7,34. Pemodelan sayap dilaksanakan menggunakan software FreeCAD dan dicetak menggunakan 3D Printer Creality Ender 2 Pro. Hasil yang diperoleh dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan 10 m/s dan sudut serang 10° model sayap dengan variasi aspek rasio 2,07 memiliki nilai lift sebesar 0,34 N yang lebih besar dibandingkan model sayap dengan variasi aspek rasio 3,8 dan 7,34 dengan kecepatan dan sudut serang yang sama. Sehingga hasil dari penelitian ini yaitu sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 7,34 memiliki performa lebih baik dibandingkan model sayap dengan variasi aspek rasio yang lainnya.*

Kata Kunci— *3D Printer, Airfoil, Digital Subsonic Wind Tunnel AF100, Lift, Drag*

*Qorinna Rahma Malika Sutarto
E-mail: qorinnarahmalika@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Operasi militer dan non-militer, terutama operasi udara, berisiko menimbulkan korban jiwa. Untuk meminimalkan risiko tersebut, teknologi *drone* digunakan, yang memungkinkan pengurangan jumlah korban dalam misi udara. *Drone* atau pesawat udara tak berawak (UAV) juga mendukung operasi intelijen dengan mengawasi pergerakan musuh dan melakukan pengintaian menggunakan sensor dan kamera. Selain itu, *drone* berfungsi dalam pengumpulan informasi dan pemetaan wilayah, serta memiliki kegunaan non-militer seperti fotografi dan videografi. Pesawat udara tanpa awak dapat dikendalikan jarak jauh dengan menggunakan hukum aerodinamika untuk terbang dan dapat membawa berbagai beban, termasuk senjata. Pesawat terbang, termasuk *drone*, memerlukan sayap untuk menghasilkan gaya angkat dan bisa mengudara.

Kemajuan teknologi pesawat tanpa awak (UAV) semakin pesat, dengan UAV yang kini berukuran lebih kecil dibandingkan pesawat berawak. Perkembangan ini juga mencakup modifikasi sayap UAV yang dipengaruhi oleh fungsi dan desainnya. Sayap pesawat, yang merupakan komponen utama untuk menghasilkan gaya angkat, memiliki bentuk melengkung di bagian atas yang disebut *airfoil*. Bentuk ini menciptakan perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap, yang memengaruhi kecepatan aliran udara dan gaya angkat. Aerodinamika sayap dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk aspek rasio.

Penelitian sebelumnya telah merancang pesawat terbang *radiocontrolled* yang menggunakan bentuk sayap *rectangular straight wing* dengan NACA 0012 menjelaskan bahwa koefisien *lift* tertinggi tercapai pada sudut serang 10° sebesar 0,000235, koefisien *drag* terendah tercapai pada sudut serang 0° sebesar 6,803. *Lift to drag ratio* tertinggi dicapai pada sudut serang 10° sebesar 2,216 [1]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis model sayap dengan bentuk dan model yang berbeda berdasarkan variasi aspek rasio. Penelitian ini dititikberatkan pada pengembangan sayap dengan variasi aspek rasio. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis gaya aerodinamis hasil manufaktur *3D printing* model sayap dengan variasi aspek rasio menggunakan *digital subsonic wind tunnel AF100*. Dalam simulasi terowongan angin, model uji diasumsikan dalam keadaan diam, dan angin bergerak pada kecepatan tertentu. Sedangkan pada kondisi nyata pesawat bergerak, dan angin relatif diam [2]. Pengujian aerodinamika dari desain pesawat di terowongan angin subsonik bertujuan untuk mendapatkan nilai karakteristik aerodinamika berupa gaya angkat (*lift*), gaya hambat (*drag*), dan gaya momen (*pitch*) serta sebagai masukan kepada perancang aerodinamika pesawat.

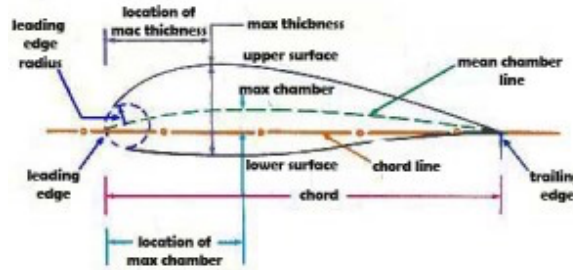
II. LANDASAN TEORI

A. Aerodinamika

Aerodinamika merupakan salah satu dari bidang ilmu yang mempelajari tentang pergerakan aliran udara, khususnya ketika udara tersebut mengenai suatu benda padat. Aerodinamika memiliki hubungan yang sangat erat dengan penyebab terbangnya suatu pesawat terbang. Dalam suatu penerbangan, gaya aerodinamika yang terbentuk yaitu gaya angkat (*lift*), gaya hambat (*drag*), gaya berat (*weight*), gaya dorong (*thrust*).

B. Airfoil

Airfoil adalah bentuk dari suatu sayap pesawat yang dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) atau efek aerodinamika ketika melewati suatu aliran udara [3]. *Airfoil* merupakan bentuk dari potongan melintang sayap yang dihasilkan oleh perpotongan tegak lurus sayap terhadap pesawat. Dengan kata lain *airfoil* merupakan bentuk sayap secara dua dimensi.



Gambar 2.1 Terminologi *Airfoil* [3]

C. Aspect Ratio

Rasio aspek pada sayap pesawat adalah perbandingan antara *span* dengan *chord* sayap, hal itu dapat diartikan bahwa semakin panjang sayap dengan lebar yang sama maka rasio aspek sayap tersebut semakin besar. Dalam pembuatan pesawat, pemilihan *aspect ratio* penting untuk misi yang akan dilakukan atau tujuan dibuatnya pesawat tersebut. Pesawat yang memiliki *aspect ratio* yang tinggi cenderung digunakan pada pesawat yang stabil, relatif berkecepatan rendah, serta membutuhkan daya tahan (*endurance*) yang tinggi, karena semakin besar rasio aspek suatu sayap pesawat maka *drag* yang dihasilkan cenderung lebih kecil dan sudut *stall* akan berkurang.

D. Lift-to-drag ratio (L/D)

Lift-to-drag ratio (L/D) adalah rasio gaya yang dihasilkan pada kecepatan tertentu serta gaya hambat yang timbul akibat pergerakan pesawat di udara. *Lift-to-drag ratio* adalah jumlah *lift* yang dihasilkan oleh sayap atau *airfoil* dibandingkan dengan *drag*. Rasio L/D menunjukkan efisiensi suatu *airfoil*.

E. UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

UAV atau *Unmanned Aerial Vehicle* adalah suatu mesin terbang yang dapat berfungsi melalui kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri, menggunakan hukum aerodinamika untuk dapat mengangkat dirinya, bisa digunakan kembali secara berulang kali dan mampu membawa muatan baik senjata maupun muatan lainnya [4]. *UAV* memiliki kelebihan yaitu dapat dioperasikan dengan mudah dan dimana saja, biaya pembuatan dan perawatan yang relatif lebih rendah, serta yang paling utama tidak membutuhkan pilot sehingga lebih aman digunakan [5]. Pesawat terbang tanpa awak dapat digunakan baik dalam bidang militer maupun non militer. Menurut jenisnya *UAV* terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *fixed wing* dan *rotary wing*.

F. Wind Tunnel

Wind tunnel adalah sebuah alat uji berbentuk terowongan, dimana udara akan mengalir melaju dengan kecepatan yang diatur, sehingga dapat mempelajari efek aliran aerodinamis dari udara setelah bergerak melewati benda padat. Dari beberapa metoda analisis aerodinamika, metoda pengujian *wind tunnel* terhadap model pesawat masih diyakini sebagai metoda yang cukup efektif untuk memprediksikan beban aerodinamika dan stabilitas pesawat yang ingin dibuat [6]. *Wind tunnel* juga dimanfaatkan dalam pembuatan sayap pesawat terbang yang bertujuan untuk mengetahui besaran dari gaya angkat dan gaya hambat dari sayap pesawat terbang.



Gambar 2.2 Digital Subsonic Wind tunnel AF100

G. Teori 3D Printing

Merupakan teknologi manufaktur 3 dimensi dengan menggunakan filamen. Proses *3D printing* menggunakan mesin pencetak 3D atau *3D printer*, yaitu sebuah mesin pencetak yang mencetak objek secara 3D yang membuat suatu model 3D secara lapis demi lapis berdasarkan file digital.

H. Teori FreeCAD

FreeCAD adalah aplikasi 3D modeling untuk semua kebutuhan, difokuskan pada teknik mesin dan bidang terkait, seperti spesialisasi teknik lain atau arsitektur. Hal ini dijadikan dasar sebagai platform untuk mengembangkan berbagai jenis aplikasi 3D, tetapi juga untuk melakukan tugas-tugas yang sangat spesifik.

I. Teori Prusaslicer

Software slicer adalah program yang menerjemahkan model objek 3D menjadi potongan-potongan irisan menjadi kode mesin atau *G-code* yang memberi instruksi kepada mesin printer untuk membuat cetakan objek 3D. *Slicer* sangat menentukan bagaimana model objek 3D dibuat oleh mesin *printer 3D*. Perangkat lunak yang digunakan pada pengujian ini adalah *Prusaslicer* yang merupakan *slicer* yang berbasis *open source* atau gratis yang juga salah satu *software* yang paling banyak diminati oleh pelaku *3D printing*.

III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

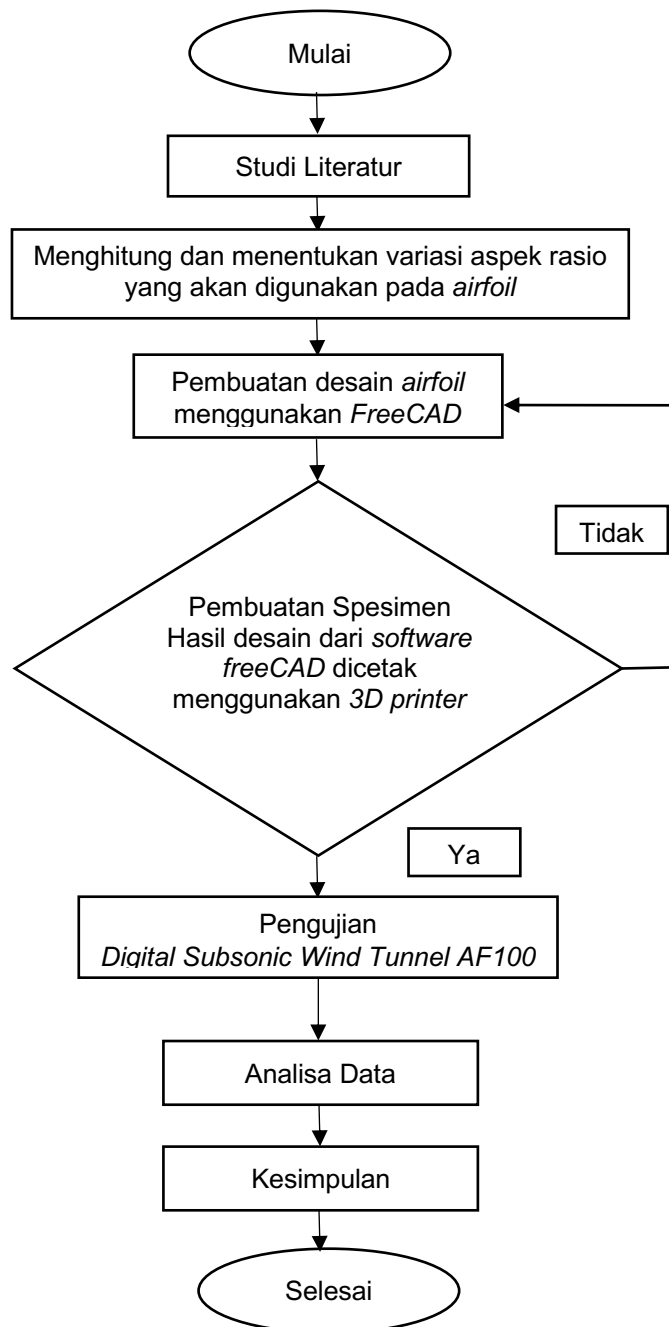
A. Rancangan Model Secara Umum

Pada penelitian ini, akan dicetak hasil manufaktur sayap berdasarkan aspek rasio menggunakan *3D printer* yang kemudian akan diuji bagaimana pengaruh aspek rasio model sayap terhadap *lift to drag ratio* dan tingkat *stall*. Benda uji akan diuji menggunakan *Digital Subsonic*

Wind Tunnel AF100 yang berada di Departemen Aeronautika Akademi Angkatan Udara. Hasil dari pengujian yang akan dilakukan selanjutnya dianalisa dengan perhitungan sehingga diperoleh besar nilai *lift*, *drag*, *lift coefficient*, *drag coefficient* dan tingkat *stall*.

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah *airfoil* hasil manufaktur *3D printing* dengan variasi aspek rasio 7,34 yang merupakan aspek rasio dari *UAV CH-4*, aspek rasio 3,8 yang merupakan aspek rasio dari *Bilsam Skywalker 1* dan aspek rasio 2,07 yang merupakan aspek rasio pembanding dari variasi sebelumnya.

B. Flowchart Penelitian



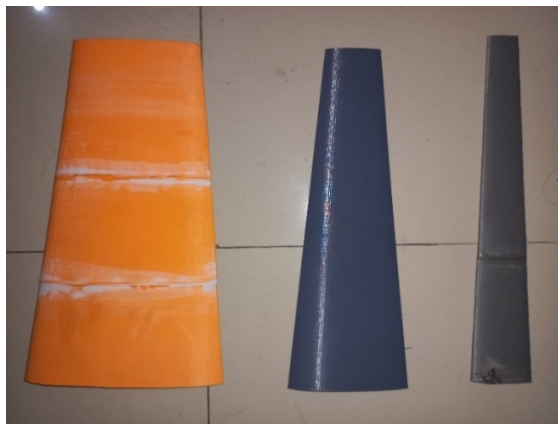
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Penjelasan terkait dengan flowchart penelitian pada Gambar 3.1, dijelaskan sebagai berikut:

- a. Melakukan perhitungan aspek rasio dengan menghitung panjang model sayap (*wing span*), lebar sayap (*wing chord*), dan luas permukaan sayap.
- b. Membuat *airfoil* dengan menggunakan website *www.airfoiltools.com*.
- c. Data yang didapat berupa teks dan diubah menggunakan *Microsoft Excel* agar dapat terbaca oleh *software FreeCAD*.
- d. Masukan data yang sudah diubah ke dalam *software FreeCAD*.^[3]
- e. Perancangan model sayap pada aplikasi *FreeCAD* menggunakan data koordinat *airfoil* yang sudah diinput.
- f. Desain sayap yang sudah dibentuk dari *software FreeCAD* diterjemahkan terlebih dahulu menjadi *G-code* menggunakan *software Prusaslicer* agar dapat memberikan instruksi kepada mesin printer untuk dapat membuat cetakan objek 3D [7].
- g. Mencetak model sayap 3D menggunakan *3D printer Creality Ender 2 Pro*.
- h. Model sayap 3D yang sudah dicetak sebagai benda uji diuji dengan menggunakan *Digital Subsonic Wind Tunnel AF100*. Lakukan analisis pada model sayap dengan berbagai variasi rasio aspek. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi sudut serang dan kecepatan yang telah ditetapkan.
- i. Mencatat data dari proses analisis terutama terkait *lift*, *drag*, *lift to drag ratio*, dan *stall*. Simpulkan perbandingan dari hasil data yang diperoleh.

C. Pembuatan Spesimen Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah *airfoil* hasil manufaktur *3D printing* dengan variasi aspek rasio 7,34 yang merupakan aspek rasio dari *UAV CH-4*, aspek rasio 3,8 yang merupakan aspek rasio dari *Bilsam Skywalker 1* dan aspek rasio 2,07 yang merupakan aspek rasio perbandingan dari variasi sebelumnya. Spesimen uji pada penelitian ini menggunakan *airfoil* NACA 2812. Benda uji dicetak menggunakan *3D printer* dengan jenis filamen PLA.



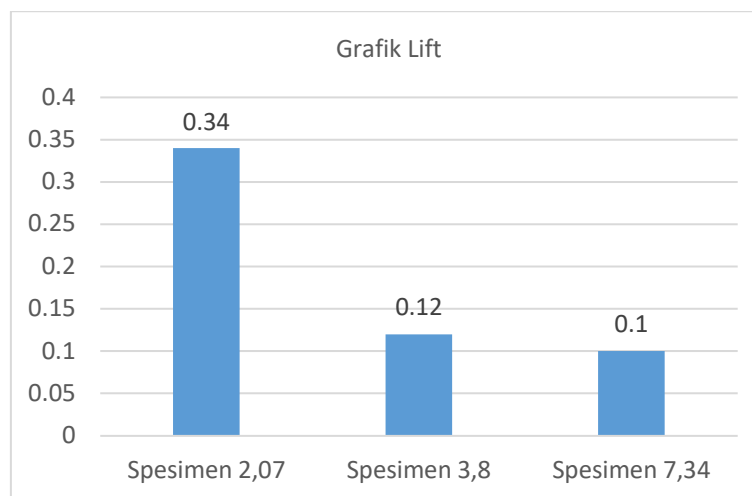
Gambar 3.2 Spesimen uji model sayap variasi aspek rasio 2,07, dan 3,8, serta 7,34 (dari kiri ke kanan)

IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

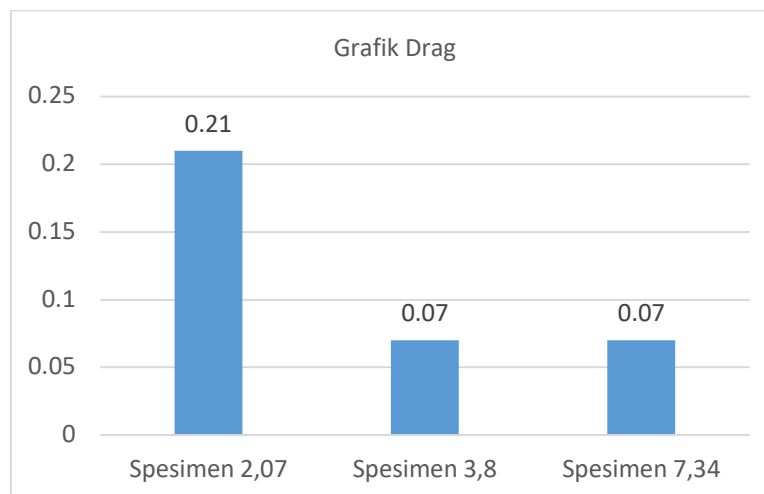
A. Hasil Pengujian

Pada penelitian yang akan ini menguji 3 buah spesimen sayap pesawat dengan menggunakan *digital subsonic wind tunnel AF100*. Variasi kecepatan yang digunakan pada pengujian sebesar 10 m/s dan 15 m/s dan variasi sudut serang yang digunakan sebesar 0° , 2° , 4° , 6° , 8° , 10° , 12° .

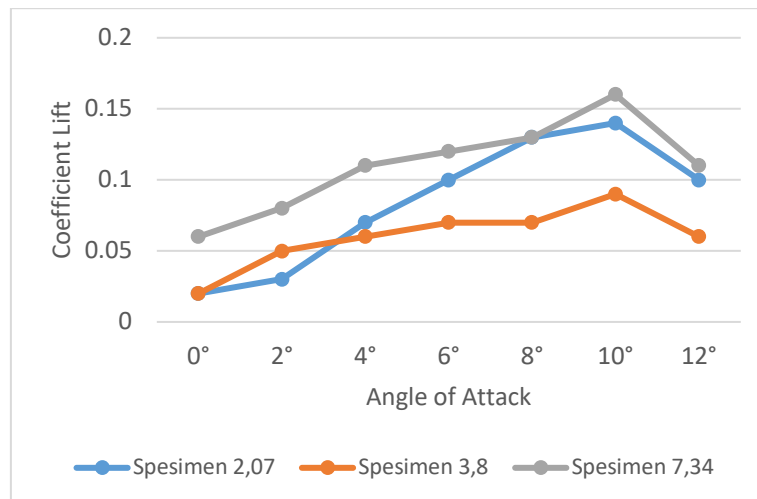
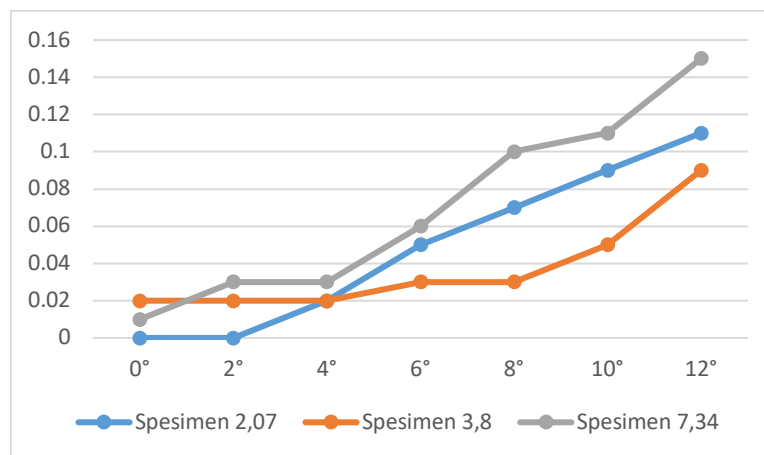
Setelah dilakukan pengujian terhadap masing-masing spesimen, akan dilakukan penggabungan grafik yang ditinjau besarnya koefisien gaya angkat dari ketiga sampel pada *Angle of Attack* dan kecepatan yang sama, dan grafik *Coeficient Lift* dan *Coeficient Drag* terhadap *Angle of Attack*.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan *Lift* dari ketiga sampel



Gambar 4.2 Grafik perbandingan *Drag* dari ketiga sampel

Gambar 4.3 Grafik C_L terhadap AOA dari ketiga sampelGambar 4.4 Grafik C_D terhadap AOA dari ketiga sampel

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik pada sayap, kita dapat melakukan analisis tentang karakteristik aerodinamis pada sayap tersebut, yaitu perbedaan aspek rasio suatu sayap pesawat akan berpengaruh terhadap koefisien *lift* dari sayap tersebut. Untuk lebih rinci akan diuraikan sebagai berikut:

- Hasil pengujian aerodinamika sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 2,07 dengan kecepatan aliran udara 10 m/s menghasilkan C_L max sebesar 0,14 pada *Angle of Attack* 10° dan pada kecepatan aliran udara 15 m/s menghasilkan C_L max sebesar 0,1 pada *Angle of Attack* 8°. Hal tersebut menyatakan bahwa kecepatan aliran udara mempengaruhi besar C_L max yang dihasilkan, dimana semakin besar kecepatan pada *AOA* yang sama maka C_L max yang dihasilkan semakin kecil.
- Hasil pengujian aerodinamika sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 3,8 dengan kecepatan aliran udara 10 m/s menghasilkan C_L max sebesar 0,9 pada *Angle of Attack* 10° dan pada kecepatan aliran udara 15 m/s menghasilkan C_L max sebesar 0,9 pada *Angle of Attack*

10°. Hal tersebut menyatakan bahwa kecepatan aliran udara mempengaruhi besar C_L max yang dihasilkan, dimana semakin besar kecepatan pada AOA yang sama maka C_L max yang dihasilkan semakin kecil.

c. Hasil pengujian aerodinamika sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 7,34 dengan kecepatan aliran udara 10 m/s menghasilkan C_L max sebesar 0,16 pada *Angle of Attack* 10° dan pada kecepatan aliran udara 15 m/s menghasilkan C_L max sebesar 0,13 pada *Angle of Attack* 8°. Hal tersebut menyatakan bahwa kecepatan aliran udara mempengaruhi besar C_L max yang dihasilkan, dimana semakin besar kecepatan pada AOA yang sama maka C_L max yang dihasilkan semakin kecil.

d. Sudut *stall* hasil pengujian sayap NACA 2812 variasi aspek rasio sayap 2,07 didapatkan bahwa dengan kecepatan aliran udara 10 m/s menghasilkan sudut *stall* sebesar 12° dan pada kecepatan aliran udara 15 m/s menghasilkan sudut *stall* sebesar 12°.

e. Sudut *stall* hasil pengujian sayap NACA 2812 variasi aspek rasio sayap 3,8 didapatkan bahwa dengan kecepatan aliran udara 10 m/s menghasilkan sudut *stall* sebesar 12° dan pada kecepatan aliran udara 15 m/s menghasilkan sudut *stall* sebesar 12°.

f. Sudut *stall* hasil pengujian sayap NACA 2812 variasi aspek rasio sayap 2,07 didapatkan bahwa dengan kecepatan aliran udara 10 m/s menghasilkan sudut *stall* sebesar 12° dan pada kecepatan aliran udara 15 m/s menghasilkan sudut *stall* sebesar 14°. Hasil tersebut menyatakan bahwa kecepatan aliran udara dapat mempengaruhi terjadinya *stall*.

g. Dari hasil pengujian pada ketiga model sayap NACA 2812 secara umum nilai koefisien gaya angkat yang dihasilkan oleh sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 7,34 memiliki nilai koefisien gaya angkat lebih besar dibanding yang lainnya. Contohnya dengan kecepatan 10 m/s dan AOA 10° didapatkan bahwa pada model sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 7,34 menghasilkan koefisien gaya angkat sebesar 0,16 dan pada model sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 3,8 menghasilkan gaya angkat sebesar 0,09, serta pada model sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 2,07 menghasilkan gaya angkat sebesar 0,14. Hasil tersebut menyatakan bahwa sayap NACA 2812 variasi aspek rasio 7,34 memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan sayap NACA 2812 variasi aspek rasio yang lainnya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa perbedaan aspek rasio pada sayap pesawat mempengaruhi nilai koefisien *lift* dan koefisien *drag* sayap. Sayap dengan aspek rasio yang lebih besar mampu memberikan hasil *L/D Ratio* yang lebih baik, sehingga lebih memungkinkan bagi pesawat dapat terbang untuk waktu yang lebih lama dan jarak lebih jauh. Selain itu, hasil manufaktur *3D printing* dapat digunakan sebagai pembuatan benda uji penelitian. Hal ini membuktikan bahwa *3D printing* merupakan suatu perkembangan teknologi yang dapat membantu proses belajar Taruna.

Untuk penelitian selanjutnya akan lebih baik apabila variasi dari sudut serang dan kecepatan aliran udara untuk dapat diubah atau lebih diperbanyak lagi agar mendapatkan karakteristik aerodinamika yang lebih spesifik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan atas terbitnya naskah ini pada Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia 2024 sebagai bentuk kebanggaan terhadap almamater Akademi Angkatan Udara.

REFERENSI

- [1] Firmanto, Bondhan dan Sya'ban Tri Hernawan, "Desain dan Analisis Numerik Performa Aerodinamika Pesawat Terbang *Radio Controlled* untuk *Aeromodeling* Taruna AAU," dalam Jurnal Patriot Biru TNI AU. Vol. 1, no. 1, hh. 68-81, 2022.
- [2] Herdiana, Dana dan Arifin Rasyadi Soemaryanto, "Analisis Aerodinamika Model Pesawat Nirawak LSU-05 dengan Pengujian Terowongan Angin," dalam Buku Teknologi pada Pesawat Terbang. LAPAN, 2015.
- [3] Daryanto, Yanto, Gunawan Wijatmoko dan Kuswandi, "Pengujian Aerodinamika Model Pesawat Udara Nir Awak –PUNA di Wind Tunnel LAGG BPPT", 2016.
- [4] Fadhillah, Herdin, "Manufaktur Pesawat Tanpa Awak Jenis *Flying Wing* dengan Metode *Fused Deposition*
- [5] Rombe, Astyra, Aguk Marausna, dan Farid Jayadi, "Analisis Karakteristik Aerodinamika pada Pesawat *UAV Fixed Wing* Tenaga Surya dengan *Airfoil* Tipe M32," dalam Jurnal Teknik, Elektronik, *Engine* Vol. 7 No. 2, 2021. *Modeling Menggunakan 3D Printer*". Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT) Politeknik Negeri Bengkalis, 2021.
- [6] Firmanto, Bondhan, "Tutorial 3D Printing Menggambar 3D Sayap FreeCAD Creality Slicer GCode Pemula Mudah Berhasil Gratis1," [Online]. Tersedia: <https://www.youtube.com/watch?v=z-W-fB3aeF4>. [Diakses: 2 Februari 2024].
- [7] Firmanto, Bondhan, "Tutorial 3D Printing Transfer GCode Menggunakan 3D Printer Ender 2 Pro Pemula Mudah Berhasil Gratis2," [Online]. Tersedia: <https://www.youtube.com/watch?v=HcToIS5pvWA&t=319s>. [Diakses: 10 Februari 2024].