Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Online) 3025-2598 |

Artikel Penelitian

Analisis Pengaruh Variasi Sudut Tekuk Winglet dan Profil Sayap Sinusoidal terhadap Efisiensi UAV Unggeh Tabang AFRG-019

Gusriwandi[a], Dendi Adi Saputra[a], Muhammad Akbar Editia[a]

[a]Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang 25163, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 23 Juni 2025
Revisi Akhir: 28 Juni 2025
Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2028

KATA KUNCI

Winglet
Sinusoidal wing
Simulasi
UAV
Koefisien angkat
Koefisien hambat

KORESPONDENSI

E-mail: gusriwandi@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have seen widespread adoption across sectors such as defense, surveillance, mapping, and agriculture. One of the key challenges in fixed-wing UAV operation is achieving high aerodynamic efficiency, which directly influences flight range, duration, and operational cost. This study analyzes the effects of winglet cant angle and sinusoidal leading-edge profile variations on UAV aerodynamic performance. Simulations were conducted using Ansys Fluent at angles of attack of 5˚, 15˚, and 30˚, with cant angle variations of 15˚, 45˚, and 75˚. Three wing configurations were tested: a baseline, Sinusoidal A (A = 0.03 × chord), and Sinusoidal B (A = 0.05 × chord), all with a wavelength of λ = 0.5 × chord. Performance was evaluated based on lift coefficient (CL), drag coefficient (CD), and lift-to-drag ratio (CL/CD). Results show that the Sinusoidal B profile significantly improves lift at high angles of attack, achieving a maximum CL of 0.589. The most efficient configuration overall was the Sinusoidal B wing with a 15˚ winglet cant angle. These findings provide valuable insights for improving UAV aerodynamic design.

1. PENDAHULUAN

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) atau drone merupakan pesawat udara yang dapat beroperasi tanpa pilot di dalamnya, baik dikendalikan secara jarak jauh maupun terbang secara otonom[1]. Karena fleksibilitas dan efisiensinya, UAV banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti pengawasan militer, pertanian, pemantauan lingkungan, dan pemetaan wilayah[2].

Namun, UAV tipe sayap tetap (fixed-wing) sering menghadapi tantangan berupa keterbatasan jangkauan terbang, yang secara langsung memengaruhi kemampuannya dalam menjalankan misi pemantauan dan pemetaan dalam durasi yang panjang[3].

Pada ajang Kontes Robot Terbang Indonesia (KRTI) tahun 2019, UAV Unggeh Tabang 019 mengalami keterbatasan daya tahan terbang yang menyebabkan misi tidak dapat diselesaikan secara optimal. Untuk meningkatkan efisiensi aerodinamika khususnya dengan meningkatkan gaya angkat dan mengurangi hambatan udara salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah melalui optimalisasi desain sayap dan winglet. Winglet berfungsi untuk mengurangi hambatan induksi yang disebabkan oleh vorteks di ujung sayap, sedangkan profil leading-edge sinusoidal, yang terinspirasi dari bentuk tonjolan (tubercles)

https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.74-78.2025

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

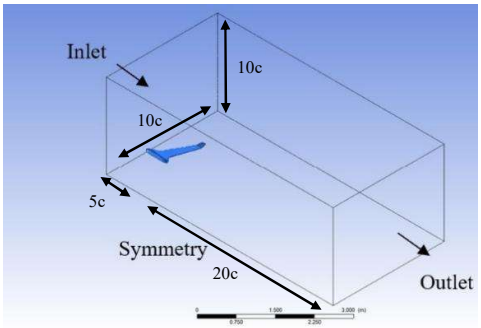
pada sirip paus bungkuk, terbukti mampu menunda terjadinya stall dan meningkatkan gaya angkat pada kondisi pasca-stall[4].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konfigurasi winglet dengan sudut cant sebesar 30° dapat menghasilkan rasio gaya angkat terhadap hambatan (CL/CD) yang tinggi[5]. Selain itu, desain sayap sinusoidal mampu meningkatkan gaya angkat maksimum hingga 17%[4] dibandingkan dengan desain sayap konvensional. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan simulasi ANSYS Fluent untuk mengevaluasi kinerja aerodinamika berbagai variasi sudut cant winglet dan profil sayap sinusoidal pada UAV Unggeh Tabang 019. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi konfigurasi paling efektif dalam meningkatkan gaya angkat, mengurangi gaya hambat, dan secara keseluruhan meningkatkan efisiensi aerodinamika UAV tersebut.

2. METODOLOGI

2.1. Model Fisik

Model domain dalam simulasi ini menggunakan bentuk kotak (closure domain), dengan dimensi yang ditentukan berdasarkan panjang chord sayap UAV. Jarak dari ujung hidung (nose) UAV ke sisi depan domain adalah 5 kali panjang chord sayap. Ke arah belakang, jarak dari ekor UAV ke batas domain adalah 20 kali panjang chord. Ke samping, jarak dari ujung sayap (wingtip) UAV ke sisi domain masing-masing adalah 10 kali panjang chord. Sedangkan ke arah vertikal, jarak dari UAV ke batas atas dan bawah domain masing-masing adalah 5 kali panjang chord sayap.



Gambar 1. Model Closure Domain Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan tiga faktor, di mana masing-masing faktor memiliki tiga level. Faktor pertama adalah bentuk profil leading edge UAV, yang terdiri dari tiga variasi: Baseline UAV, Sinusoidal A, dan Sinusoidal B. Faktor kedua adalah sudut cant pada winglet UAV, dengan tiga level yaitu 15°, 45°, dan 75°. Faktor ketiga adalah sudut serang (angle of attack) UAV, juga terdiri dari tiga level yaitu 5°, 15°, dan 75°.

Tabel 1. Konfigurasi profile Wing UAV

Configuration	Leading Edge Type	Amplitude (A)	Wavelenght(λ)	Chord Length For Wing	Chord Length For Winglet
Baseline UAV	Staright (No Sinusoidal)	-	-	215 mm	125 mm
UAV A	Sinusoidal	0.03 × Chord	0.5 × Chord	215 mm	125 mm
UAV B	Sinusoidal	0.05 × Chord	0.5 × Chord	215 mm	125 mm

2.2. Model Matematik

Simulasi numerik dilakukan dengan terlebih dahulu merumuskan persamaan dasar dan kondisi batas. Untuk mendapatkan distribusi kecepatan dan suhu di dalam kabin pengering, digunakan persamaan dasar (1-3) berikut:

Persamaan kontinuitas

$$\frac{D\rho}{Dt} = -\nabla \cdot (\rho u) \quad (1)$$

Persamaan momentum

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + \rho g \quad (2)$$

Pada Pers. (1-2), *D/Dt* adalah turunan substansial.

2.3. Pemecahan Persamaan

Untuk menyelesaikan Persamaan (1–3), digunakan perangkat lunak ANSYS Fluent. Sebelum proses pemecahan numerik dilakukan, beberapa asumsi berikut ditetapkan:

- Aliran udara diasumsikan dalam kondisi tunak (steady-state).
- Densitas dan viskositas dinamik udara dianggap konstan sepanjang domain simulasi.

Adapun parameter-parameter yang ditetapkan selama simulasi adalah sebagai berikut:

- Kecepatan jelajah UAV: 16 m/s

 https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.74-78.2025

- Tekanan atmosfer: 1 atm (standar)
- Model turbulensi: k-ω SST (Shear Stress Transport)

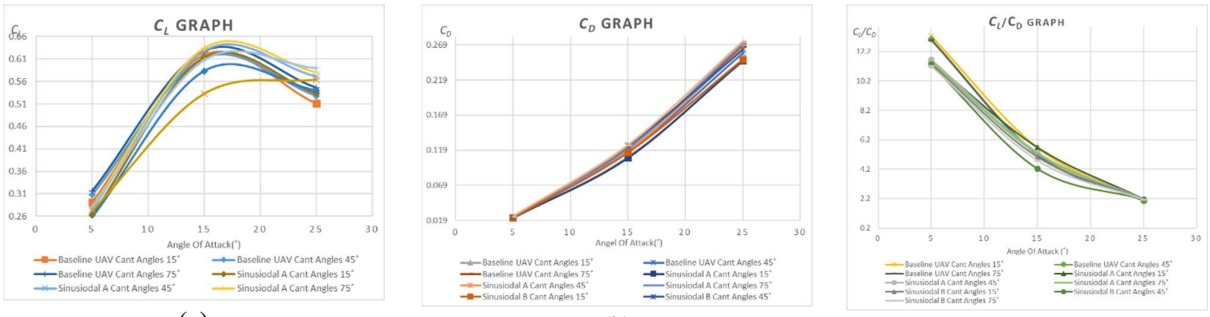
pada menu Reference Values di ANSYS Fluent, beberapa parameter ditambahkan secara manual untuk keperluan perhitungan koefisien aerodinamika, antara lain:

- *Characteristic length* diisi dengan nilai rata-rata chord wing UAV
- *Reference area* diisi dengan nilai luas proyeksi permukaan sayap UAV (*wing planform area*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Grafik C_L,C_D, dan C_l/C_d

Pada (Gb. 3) diperlihatkan grafik Cl Cd dan Cl/Cd untuk semua konfigurasi, pada AoA 5°, Baseline dengan cant 75° menghasilkan CL tertinggi, sedangkan rasio CL/CD tertinggi tercatat pada Baseline dengan cant 15° (13.25). Nilai CD di semua konfigurasi relatif rendah (0.02–0.03). Pada AoA 15°, CL meningkat pada semua konfigurasi. Sinusoidal B dengan cant 75° menunjukkan CD tertinggi (0.1256), dan Sinusoidal A dengan cant 15° memiliki CD terendah (0.108) serta rasio CL/CD tertinggi (5.68). Pada AoA 25°, konfigurasi sinusoidal khususnya Sinusoidal A dengan cant 75° mampu mempertahankan CL lebih baik. Konfigurasi cant 15° menghasilkan CD terendah (sekitar 0.245), sedangkan Sinusoidal B dengan cant 75° mencatat CD tertinggi (0.27). Rasio CL/CD terbaik dicapai oleh Sinusoidal B dengan cant 15° (2.18), dan terendah pada Baseline dengan cant 75° (2.05). Secara keseluruhan, cant 15° memberikan performa aerodinamika terbaik, sementara profil sinusoidal efektif dalam menunda stall pada AoA tinggi melalui pembentukan vorteks.

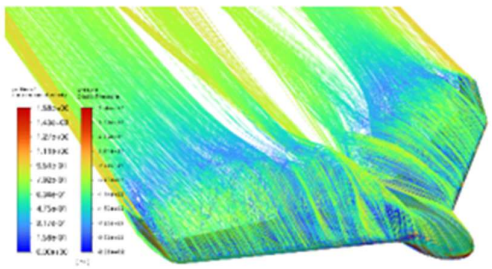


(a) (b) (c)

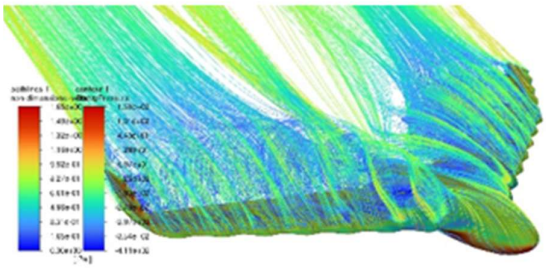
Gambar 2. Grafik CL,CD, dan Cl/Cd

3.2. Distribusi Tekanan dan Streamline

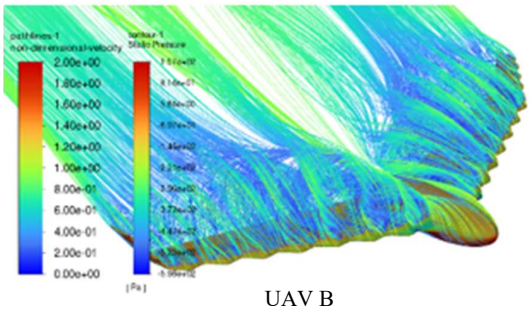
Pada (Gb. 4) diperlihatkan Distribusi Tekanan dan Streamline untuk konfigurasi Baseline UAV, UAV A, dan UAV B Berdasarkan gambar streamline, konfigurasi sayap sinusoidal menunjukkan adanya pembentukan vorteks di sekitar permukaan sayap UAV. Vorteks ini berperan penting dalam menjaga aliran tetap menempel pada permukaan sayap, terutama pada bagian atas (upper surface), sehingga meminimalkan terjadinya separasi aliran. Dengan berkurangnya separasi, gaya angkat dapat dipertahankan meskipun sudut serang (AoA) meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa sayap sinusoidal memiliki kemampuan untuk menunda terjadinya stall, terutama pada kondisi AoA tinggi, dibandingkan dengan konfigurasi sayap Baseline yang cenderung mengalami stall lebih awal akibat aliran yang terlepas dari permukaan.



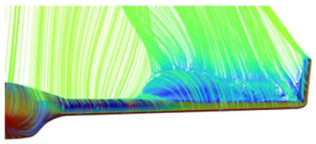
Baseline UAV



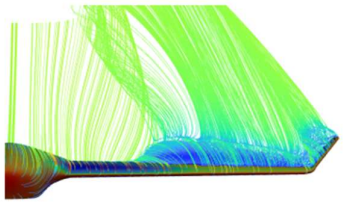
UAV A



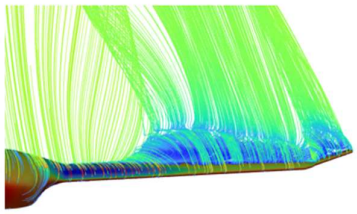
UAV B



Sudut Cant 15˚



Sudut Cant 45˚



Sudut Cant 75˚

Gambar 3. Distribusi tekanan dan streamline

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Profil winglet sinusoidal berfungsi sebagai generator vorteks yang efektif, sehingga mampu meningkatkan gaya angkat pada sudut serang (AoA) tinggi dengan cara menunda pemisahan aliran.
2. Sudut cant winglet berpengaruh signifikan terhadap performa aerodinamika UAV, khususnya dalam mengurangi induced drag.
3. Di antara seluruh konfigurasi yang diuji, sudut cant 15˚ secara konsisten menghasilkan nilai rasio CL/CD tertinggi, yang menunjukkan efisiensi aerodinamika paling optimal.
4. Konfigurasi Sinusoidal B dengan cant 15˚ menunjukkan performa aerodinamika terbaik pada kondisi AoA tinggi, menjadikannya konfigurasi paling efektif dalam studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Rahmad Akbar and A. Imron, “Penerbangan Otomatis Pesawat Tanpa Awak Sayap Tetap Menggunakan Flight Controller Berbasis iNav Automatic Flight of Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle Using Flight Controller Based on iNav,” vol. 9, pp. 90–100, 2022, [Online]. Available: http://journal.ipb.ac.id/index.php/jika.

[2] L. Nurkarimah, T. Wibowo, and T. M. Arief, “Rancang Bangun Sistem Kendali Pesawat Tanpa Awak Jenis Fixed Wing Terbang Mapping,” *Semin. Nas. Ind. dan Teknol.*, pp. 466–52, 2021.

[3] H. S. Saroinsong, V. C. Poekoel, and P. D. . Manembu, “Rancang bangun wahana pesawat tanpa awak (Fixed Wing) berbasis Ardupilot,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 73–84, 2018, [Online]. Available: https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/19195/18753.

[4] R. Bardera, Á. A. Rodríguez-Sevillano, E. Barroso-Barderas, and J. C. Matías-García,

"CFD study of the effect of leading-edge tubercles on the aerodynamic characteristics of a small UAV based on eppler 186 airfoils," *Results Eng.*, vol. 23, no. June, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102639.

[5] S. H. Sayem and A. Al-faruk, "Effect of Cant Angles on the Aerodynamic Performances of an Airplane Wing with Blended Type Winglet : Numerical Analysis," *Int. Conf. Mech. Ind. Energy Eng. 2020 19-21 December, 2020, Khulna, BANGLADESH ICMIEE20-124*, no. September, pp. 1–6, 2020.

NOMENKLATUR

e	energi dalam
g	percepatan gravitasi
p	tekanan
q	panas melalui konduksi
t	waktu
u	kecepatan
μ	viskositas dinamik
ρ	massa jenis
τ	tensor tegangan