

Analisis Computational Fluid Dynamics (CFD) Winglet Pesawat Hercules C-130J TNI AU

Muhammad Ibrahim^{a,*}, Ahmad Hasan Fauzi^a, Hadi Wahyudi^{a, b}

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan
Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16810

^bDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Surdirman Km.3, Cilegon-Banten, Indonesia, 42435

*E-mail: muhib2740@gmail.com

Abstract

Winglet is a vertical or inclined extension at the wingtip aimed at reducing induced drag and enhancing wing aerodynamic performance. This study aims to investigate the impact of adding winglets to the wings of the Hercules C-130J aircraft. The analyzed variations include winglet types (canted and blended) and cant angles (30°, 60°, and 90°) on wing lift performance metrics such as lift coefficient (C_L) and drag coefficient (C_D). The analysis employs computational fluid dynamics (CFD) simulation method using Ansys Fluent 2022 R1 software. The results indicate that the blended winglet type at a 30° cant angle is the most effective, as it increases the lift-to-drag ratio (C_L/C_D) by 3.3% and reduces trailing vortices formation at the wingtip.

Kata kunci: winglet, cant angle, computational fluid dynamics, lift coefficient, drag coefficient

Abstrak

Winglet adalah ekstensi vertikal atau miring pada ujung sayap yang berfungsi untuk mengurangi gaya hambat *induced drag* dan meningkatkan performa aerodinamika sayap. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh penambahan winglet pada sayap pesawat Hercules C-130J. Variasi yang dianalisis meliputi jenis winglet (*canted* dan *blended*) dan sudut *cant* (30°, 60°, dan 90°) terhadap *lift performance* sayap seperti koefisien angkat (C_L) dan koefisien hambat (C_D). Analisis dilakukan menggunakan metode simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak Ansys Fluent 2022 R1. Hasil menunjukkan bahwa winglet jenis *blended* pada sudut *cant* 30° merupakan yang terbaik, dengan meningkatkan rasio *lift* terhadap *drag* (C_L/C_D) sebesar 3.3% dan mengurangi pembentukan *trailing vortices* di ujung sayap.

Kata kunci: winglet, cant angle, computational fluid dynamics, lift coefficient, drag coefficient

1 Pendahuluan

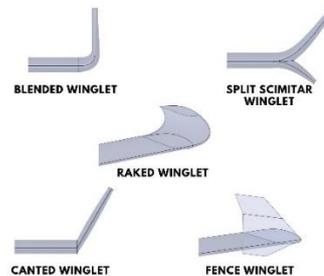
Sayap adalah sejenis sirip apabila terkena aliran udara atau jenis fluida lainnya maka akan menghasilkan gaya angkat. Hal ini diakibatkan sayap yang berbentuk aerodinamis yang disebut *airfoil* [1]. Setiap sayap menghasilkan gaya angkat karena adanya perbedaan tekanan antara sisi atas dan sisi bawah sayap. Tekanan yang tinggi di sisi bawah sayap cenderung membuat udara mengalir menuju sisi atas sayap yang tekanannya lebih rendah. Di sekitar ujung sayap, ada kecenderungan tekanan ini untuk menjadi seimbang, menghasilkan aliran lateral keluar dari bawah permukaan ke atas permukaan. Aliran lateral ini memberikan kecepatan rotasional pada udara di ujung, sehingga menciptakan *trailing vortices* yang mengekor di belakang. Saat udara mengalir di belakang sayap, aliran udara condong ke bawah, yang disebut sebagai *downwash* [2]. Pola aliran *downwash* ini membuat kecepatan relatif miring ke bawah pada setiap bagian dari sayap, sehingga sudut serang menjadi berkurang. Vektor gaya angkat miring ke belakang yang membuat muncul gaya ke arah belakang yang disebut *induced drag* [3].

Untuk mengurangi kekuatan *trailing vortices* dan besaran *induced drag*, serta meningkatkan performa aerodinamika dari sayap, para insinyur mengembangkan konsep winglet [3]. Winglet merupakan perpanjangan sayap secara vertikal atau miring di setiap ujung sayap. Winglet bekerja dengan cara menyebarkan pusaran yang terbentuk di ujung sayap, sehingga mengurangi gaya hambat yang disebabkan oleh *induced drag* dan meningkatkan performa aerodinamika dari sayap. Winglet meningkatkan *aspect ratio* dari sayap tanpa menambah beban struktural secara signifikan, sehingga tidak banyak menambah berat struktur pesawat [4]. Penelitian winglet pertama kali dilakukan oleh Richard Whitcomb pada pertengahan tahun 1970-an. Sirip kecil dan hampir vertikal dipasang pada KC-135A dan uji terbang dilakukan pada tahun 1979 dan 1980 [5, 6]. Whitcomb mengungkapkan jika winglet dipasang pada pesawat, maka terjadi peningkatan efisiensi lebih dari 7%. Bagi maskapai penerbangan hal ini berarti penghematan konsumsi bahan bakar.

Winglet terdiri dari beberapa jenis. Adapun jenis winglet yang umum digunakan dalam pesawat terbang adalah seperti pada Gambar 1, yaitu winglet *blended*, winglet *split scimitar*, winglet *raked*, winglet *raked*, dan winglet *fence*. Winglet *blended* terintegrasi dengan halus pada struktur sayap pesawat, memberikan transisi melengkung dari sayap ke winglet. Winglet *split scimitar* merupakan versi lanjutan dari winglet *blended*. Winglet ini melengkung ke atas dan ke

bawah. Winglet *raked* merupakan perpanjangan dari ujung sayap yang memiliki sudut sedikit lebih tinggi. Winglet *canted* memiliki sirip yang cukup pendek dengan kemiringan atau kecondongan relatif terhadap sumbu vertikal pesawat. Winglet *fence* berupa sirip yang tegak lurus pada bagian atas dan bawah yang dipasang pada ujung sayap.

Para peneliti menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD) untuk mempelajari kinerja winglet karena teknologi ini memberikan solusi yang dapat diandalkan dalam memodelkan efek viskositas [3]. *Computational fluid dynamics* (CFD) merupakan sebuah cabang ilmu mekanika fluida yang memanfaatkan algoritma dan metode numerik untuk menyelesaikan serta menganalisis permasalahan terkait aliran fluida, mencakup transfer massa, perpindahan panas, perubahan fase, reaksi kimia, dan lain-lain [7]. Hal ini dilakukan dengan menyelesaikan persamaan hukum Newton kedua, persamaan konservasi massa, persamaan konservasi energi, dan lainnya. Analisis dinamika fluida dapat melakukan simulasi perilaku aliran fluida dalam suatu domain dengan berbagai kondisi batas tertentu. Analisis ini memberikan solusi aliran yang diinginkan dengan bantuan perangkat lunak, seperti Ansys Fluent, Ansys CFX, OpenFOAM, XFLR5, dan lain sebagainya.



Gambar 1. Jenis-Jenis Winglet

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh penambahan winglet pada sayap pesawat Hercules C-130J terhadap performa aerodinamikanya. Penelitian ini hanya fokus pada analisis aerodinamika pada bagian sayap pesawat, tanpa mempertimbangkan *fuselage* dan ekor pesawat. Dalam penelitian ini, sayap digambarkan hanya sebesar setengah dari panjang sayapnya. Hal ini dilakukan untuk mempercepat dan mempermudah proses penelitian. Material dan berat dari sayap dan winglet diabaikan, dan keduanya tidak mengalami deformasi.

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh penambahan geometri winglet *canted* dan winglet *blended* pada sayap pesawat Hercules C-130J dengan tujuan untuk mengetahui fenomena aliran udara disekitar sayap dan menghitung *lift performance* seperti koefisien hambat (C_D), koefisien angkat (C_L), dan rasio angkat terhadap hambat (C_L/C_D) dengan menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD). Geometri sayap diperkecil menjadi 1:20 dengan tujuan untuk simulasi yang lebih efisien dan penggunaan sumber daya yang lebih rendah. Analisis sayap dilakukan pada sudut serang 3° . Selain itu, variasi sudut pada winglet akan dilakukan dengan sudut *cant* 30° , 60° dan 90° . Analisis *computational fluid dynamics* (CFD) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent 2022 R1.

2 Metode penelitian

Langkah komputasi pada penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu *pre-processing*, *numerical computation*, dan *post-processing*. Pada tahap pertama, yaitu *pre-processing*, geometri dari sayap dan winglet dibuat menggunakan perangkat lunak *computational aided design* (CAD) Ansys Spaceclaim 2022 R1. Pembentukan *mesh* menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent Meshing 2022 R1. Tahap kedua adalah *numerical computation* dengan menggunakan Ansys Fluent Solver 2022 R1 dengan metode pendekatan volume hingga. Tahap terakhir adalah *post-processing* dimana ditemukan karakteristik aerodinamis dari winglet.

Sayap pesawat hercules C-130J terbagi menjadi dua bagian, yaitu central wing dan lateral wing. Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan spesifikasi geometri sayap pesawat Hercules C-130J dengan ukuran yang telah diperkecil dengan skala 1:20. Geometri sayap dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Ansys Spaceclaim 2022 R1. Geometri dari sayap pesawat Hercules C-130J ditampilkan pada Gambar 2.

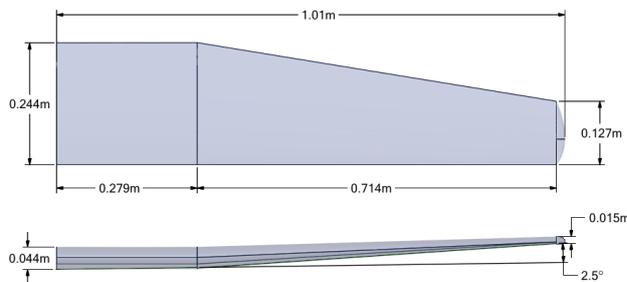
Tabel 1. Spesifikasi Central Wing [8]

Central Wing		
	Scaled Size	Actual Size
Airfoil	NACA 64A-318	NACA 64A-318
Chord	0.244 m	4.88 m
Incidence	3°	3°
Span	0.279 m	5.588 m

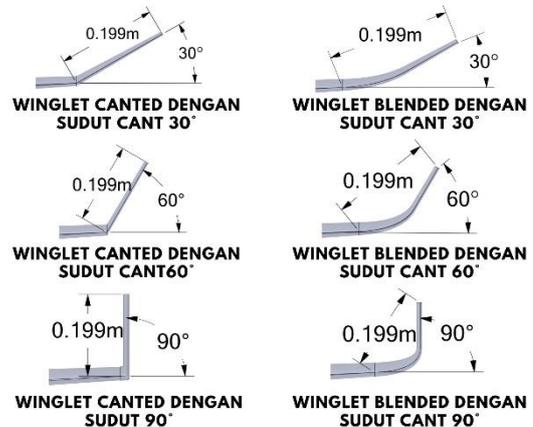
Tabel 2. Spesifikasi Lateral Wing [8]

Lateral Wing				
	Scaled Size		Actual Size	
Evolutive airfoil	Root	Tip	Root	Tip
	NACA 64A-318	NACA 64A-412	NACA 64A-318	NACA 64A-412
Incidence	3°	0°	3°	0°
Taper ratio	0.52		0.52	
Span	0.714 m		14.274 m	
Dihedral	$2^\circ, 30'$		$2^\circ, 30'$	

Tabel 3 menunjukkan spesifikasi dari winglet yang digunakan. Pada penelitian ini, parameter yang divariasikan yaitu jenis winglet dan sudut *cant*. Jenis winglet yang digunakan adalah winglet *canted* dan winglet *blended*, variasi sudut pada winglet akan dilakukan dengan sudut *cant* 30°, 60° dan 90°. Sudut *sweep* dipertahankan pada sudut 60°. Pemilihan sudut *sweep* yang tinggi disebabkan oleh fakta bahwa pada sudut *sweep* yang lebih tinggi, tercipta lebih sedikit *parasite drag*, yang mengakibatkan penurunan nilai koefisien hambat (C_D) [9]. Ada enam modifikasi winglet yang akan diuji. Gambar 3 menunjukkan enam modifikasi winglet yang akan diuji.



Gambar 2. Geometri Sayap Pesawat Hercules C-130J

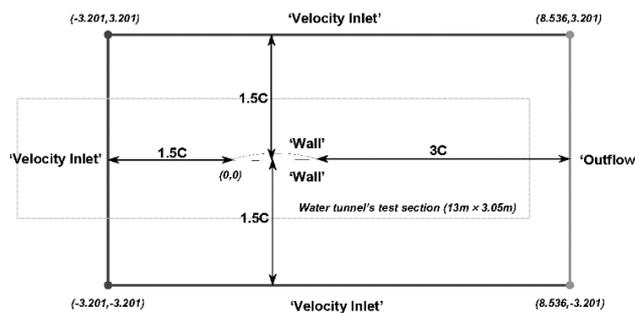


Gambar 3. Geometri Sayap Pesawat Hercules C-130J

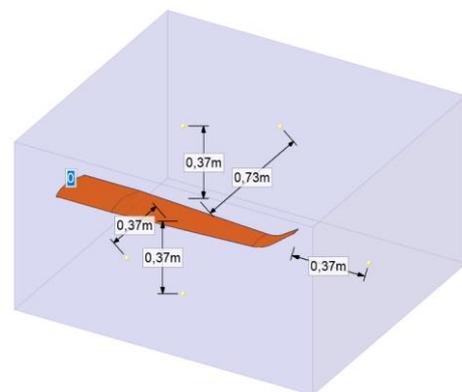
Tabel 3. Spesifikasi Winglet

Winglet	
Airfoil	NACA 64A-412
Chord	Root
	Tip
	0.127 m 0.051 m
Span	0.199 m
Sudut Sweep	60°

Desain domain yang digunakan untuk analisis sayap pesawat Hercules C-130J adalah desain yang digunakan oleh Mulvany dkk (2004) yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 5 menunjukkan domain *wind tunnel* yang dibuat dengan perangkat lunak Ansys Spaceclaim 2022 R1.



Gambar 4. Dimensi dan Kondisi Batas Domain [10]

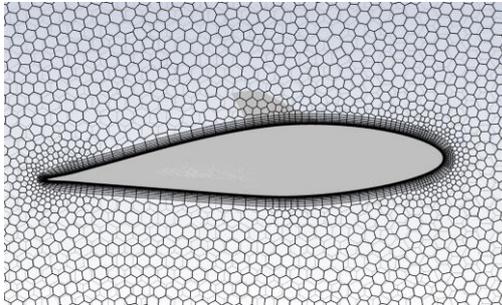


Gambar 5. Dimensi Wind Tunnel Simulasi

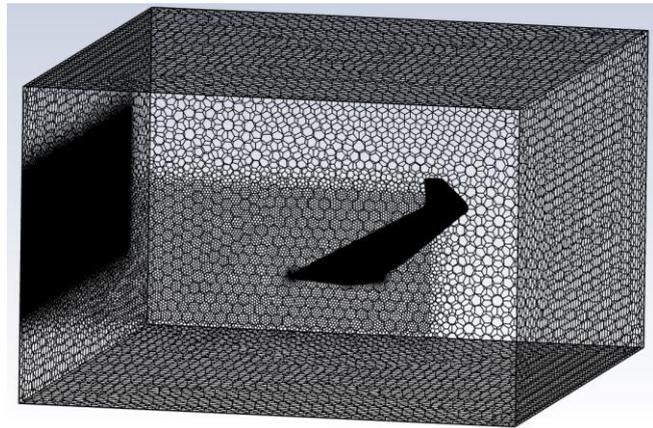
Proses selanjutnya adalah proses pembentukan *mesh* pada domain yang telah dibuat. Pembentukan *mesh* menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent Meshing 2022 R1. Pada penelitian ini, jenis *mesh* yang digunakan adalah *polyhedral mesh*. *Orthogonal quality mesh* disesuaikan dengan rekomendasi dari *mesh metric spectrum*, yaitu diantara 0.15 hingga 1 [11]. Untuk menangkap fenomena pusaran pada ujung sayap, daerah di dekat sayap menggunakan *local sizing*, yaitu *body of influence* dengan daerah yang berada di dekat sayap memiliki ukuran *mesh* yang lebih kecil. Untuk meningkatkan akurasi simulasi di area kritis di sekitar sayap, *inflation* ditambahkan disekeliling sayap. Gambar 6 menunjukkan *inflation* disekeliling sayap. Gambar 7 menunjukkan hasil pembentukan *mesh*.

Setelah pembentukan *mesh*, langkah selanjutnya adalah *numerical simulation*. *Density based solver* digunakan dalam analisis aerodinamika model sayap winglet karena *solver* jenis ini cocok untuk aliran kompresibel dan aliran dengan kecepatan tinggi. Untuk model turbulen yang digunakan adalah model turbulen $k-\omega$ SST. Model ini dipilih karena model ini memiliki keunggulan dalam menggabungkan model $k-\omega$ dekat dinding dengan model $k-\epsilon$ di luar lapisan batas, sehingga, model ini dapat memberikan prediksi yang baik untuk aliran dari dekat dinding hingga bagian luar lapisan batas. Kondisi batas dan model turbulen yang digunakan bersama dengan kondisi input lainnya ditampilkan pada

Tabel 4. Setelah semua parameter ditentukan, model diinisialisasi. Proses inialisasi dan iterasi berhenti setelah komputasi selesai. Hasil yang diperoleh berupa nilai *lift performance*, yaitu koefisien angkat (C_L) dan koefisien hambat (C_D) diperiksa dan dianalisis.



Gambar 6. Inflation Disekeliling Sayap



Gambar 7. Hasil Pembentukan Mesh

Tabel 4. *Setup Settings* dalam Ansys Fluent 2022 R1

Parameter Simulasi	Nilai/Model Yang Dipilih
Time	Steady
Material	Air
Equation Type	Density-Based
Reynold Number	1.5×10^7
Massa Jenis	0.61 kg/m^3
Viskositas	$1.586 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$
Model Turbulen	k- ω SST
Residual	10^{-5}
Altitude	6,705.6 m
Tekanan	42,791.5 Pa
Gravitasi	9.81 m/s^2

3 Hasil dan Pembahasan

Lift performance dari sayap seperti koefisien hambat (C_D), koefisien angkat (C_L), dan rasio angkat terhadap hambat (C_L/C_D) dianalisis secara detail disini. Analisis sayap dilakukan pada sudut serang 3° . Ada dua jenis winglet yang akan dianalisis, yaitu winglet *canted* dan winglet *blended*. Selain itu, variasi sudut pada winglet akan dilakukan dengan sudut *cant* 30° , 60° dan 90° .

3.1 Analisis Koefisien Angkat (C_L)

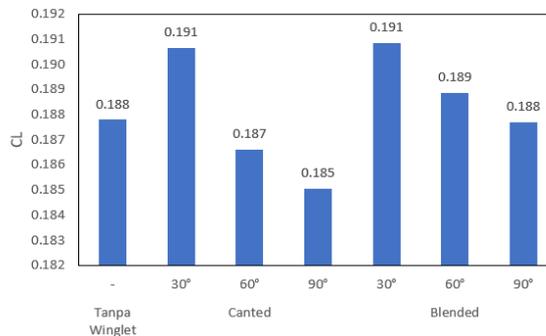
Tabel 5 menunjukkan nilai koefisien angkat (C_L) untuk konfigurasi winglet yang berbeda dengan sudut serang 3° . Gambar 8 menunjukkan grafik koefisien angkat (C_L) terhadap konfigurasi winglet yang berbeda. Berdasarkan tabel dan grafik tersebut, nilai koefisien angkat (C_L) tertinggi berada pada winglet dengan jenis *blended* pada sudut *cant* 30° dengan nilai koefisien angkat (C_L) sebesar 0.19085531. Winglet jenis *canted* pada sudut *cant* 30° merupakan nilai koefisien angkat (C_L) terbesar kedua dengan nilai koefisien angkat (C_L) sebesar 0.19066353. Berdasarkan tabel dan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai sudut *cant* dari suatu winglet maka akan semakin besar nilai koefisien angkat (C_L) sayap tersebut. Berdasarkan grafik dan gambar tersebut juga dapat disimpulkan bahwa winglet dengan jenis *blended* lebih baik untuk menghasilkan koefisien angkat (C_L) yang lebih tinggi daripada winglet dengan jenis *canted*.

Tabel 5. Nilai Koefisien Angkat (C_L) Untuk Konfigurasi Winglet yang Berbeda

Jenis Winglet	Sudut Cant	C_L
Tanpa Winglet	-	0.18778989
Canted	30°	0.19066353
	60°	0.18662101
	90°	0.18504932
	30°	0.19085531
Blended	60°	0.18887340
	90°	0.18768182

Berdasarkan tabel dan grafik tersebut, tidak semua konfigurasi winglet membuat nilai koefisien angkat (C_L) mengalami peningkatan. Winglet *canted* dengan sudut *cant* 60° dan 90° , serta winglet *blended* dengan sudut *cant* 90°

mengalami penurunan nilai koefisien angkat (C_L). Peningkatan sudut *cant* membuat koefisien angkat (C_L) jadi menurun. Hal ini diakibatkan ketika sudut *cant* yang tinggi membuat perbedaan tekanan di ujung sayap menjadi berkurang. Winglet dengan sudut *cant* yang tinggi juga berperilaku seperti dinding yang menyebabkan penurunan perbedaan tekanan antara permukaan atas dan permukaan bawah dari sayap [3].



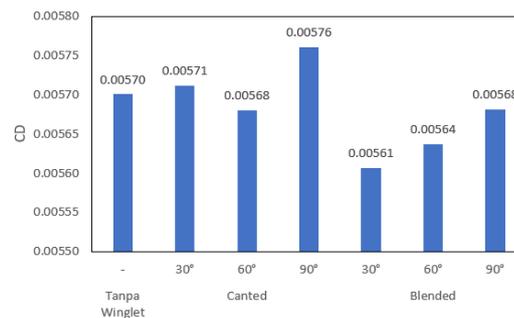
Gambar 8. Grafik Koefisien Angkat (C_L) terhadap Konfigurasi Winglet yang Berbeda

3.2 Analisis Koefisien Hambat (C_D)

Tabel 6 menunjukkan nilai koefisien hambatan (C_D) untuk konfigurasi winglet yang berbeda dengan sudut serang 3°. Gambar 9 menunjukkan grafik koefisien hambatan (C_D) terhadap konfigurasi winglet yang berbeda. Berdasarkan tabel dan grafik tersebut, nilai koefisien hambatan (C_D) terendah berada pada winglet dengan jenis *blended* dengan sudut *cant* 30° dengan nilai koefisien hambatan (C_D) sebesar 1.645439943 diikuti oleh winglet dengan jenis *blended* dengan sudut *cant* 60° dengan nilai 0.005637149. Winglet jenis *blended* menunjukkan penurunan nilai koefisien hambatan (C_D). Berdasarkan grafik dan gambar tersebut juga dapat disimpulkan bahwa winglet dengan jenis *blended* dengan sudut *cant* yang lebih rendah lebih baik untuk menurunkan nilai koefisien hambatan (C_D) daripada winglet dengan jenis *canted*.

Tabel 6. Nilai Koefisien Hambat (C_D) Untuk Konfigurasi Winglet yang Berbeda

Jenis Winglet	Sudut Cant	C_D	
Tanpa Winglet	-	0.005700597	
	Canted	30°	0.005712074
		60°	0.005680657
		90°	0.005760530
Blended	30°	0.005606797	
	60°	0.005637149	
	90°	0.005681158	



Gambar 9. Grafik Koefisien Hambat (C_D) terhadap Konfigurasi Winglet yang Berbeda

3.3 Analisis Rasio Lift Terhadap Drag (C_L/C_D)

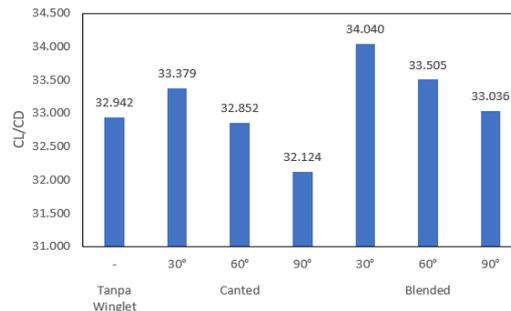
Tabel 7 menunjukkan nilai rasio lift terhadap drag (C_L/C_D) untuk konfigurasi winglet yang berbeda dengan sudut serang 3°. Gambar 10 menunjukkan grafik rasio lift terhadap drag (C_L/C_D) terhadap konfigurasi winglet yang berbeda. Dari tabel dan grafik tersebut, nilai rasio lift terhadap drag terbaik berada pada winglet dengan jenis *blended* pada sudut *cant* 30° dengan nilai rasio sebesar 34.03998871. Ini menunjukkan bahwa winglet ini merupakan winglet terbaik dengan peningkatan efisiensi aerodinamis sebesar 3.3%. Winglet dengan jenis *blended* pada sudut *cant* 60° merupakan winglet terbaik kedua dengan nilai rasio sebesar 33.50513118 dan peningkatan aerodinamis sebesar 1.7%.

Dari tabel dan grafik dapat disimpulkan bahwa semakin kecil sudut *cant* pada winglet maka semakin tinggi efisiensi aerodinamis yang dihasilkan. Winglet dengan jenis *blended* juga menunjukkan peningkatan rasio yang lebih baik daripada winglet dengan jenis *canted*. Alasan mengapa winglet *blended* lebih aerodinamis daripada winglet jenis *canted*

disebabkan oleh winglet jenis *blended* memiliki transisi yang lebih halus daripada winglet jenis *canted*, yang menghasilkan efisiensi tambahan dibandingkan dengan winglet *canted*.

Tabel 7. Nilai Rasio *Lift* terhadap *Drag* (C_L/C_D) Untuk Konfigurasi Winglet yang Berbeda

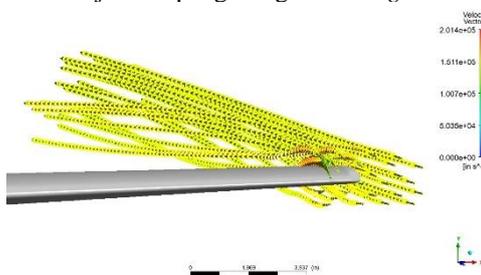
Jenis Winglet	Sudut Cant	C_L/C_D
Tanpa Winglet	-	32.94214448
Canted	30°	33.37904003
	60°	32.85200992
	90°	32.12366279
	30°	34.03998871
Blended	60°	33.50513118
	90°	33.03584056



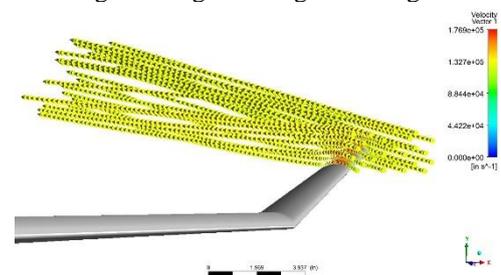
Gambar 10. Grafik Rasio *Lift* terhadap *Drag* (C_L/C_D) terhadap Konfigurasi Winglet yang Berbeda

3.4 Analisis *Streamline* Pada Bagian Ujung Sayap

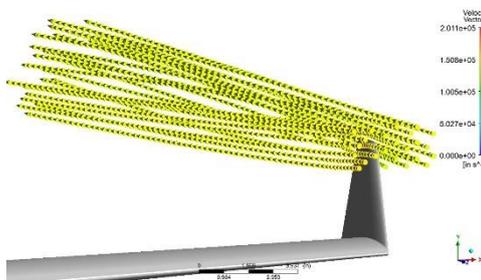
Gambar 11 sampai Gambar 17 menunjukkan *streamline* aliran pada bagian ujung sayap untuk konfigurasi winglet yang berbeda dengan sudut serang 3°. *Streamline* aliran ini difokuskan pada ujung sayap di mana *trailing vortices* terjadi. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat bahwa pada sayap tanpa winglet *trailing vortices* terbentuk cukup besar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pada Gambar 12 sampai Gambar 17, sayap dengan tambahan winglet menunjukkan pengurangan besaran *trailing vortices* yang terbentuk. Sayap dengan winglet jenis *blended* dengan sudut *cant* 30° menunjukkan pengurangan *trailing vortices* terbesar jika dibandingkan dengan konfigurasi winglet lainnya.



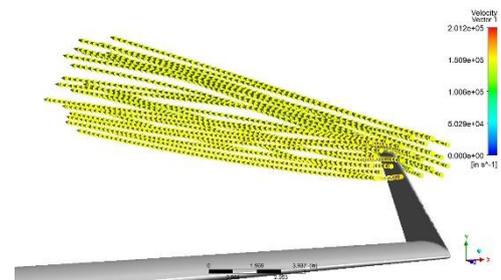
Gambar 11. *Trailing Vortices* Pada Sayap Tanpa Winglet



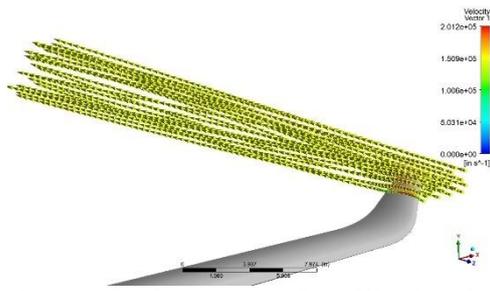
Gambar 12. *Trailing Vortices* Pada Winglet *Canted* dengan Sudut *Cant* 30°



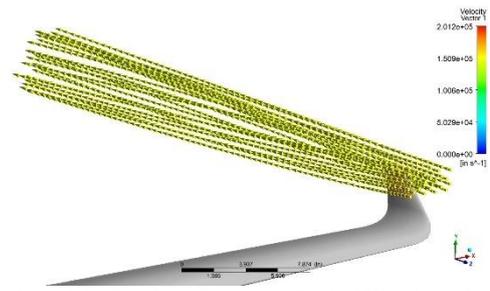
Gambar 13. *Trailing Vortices* Pada Winglet *Canted* dengan Sudut *Cant* 60°



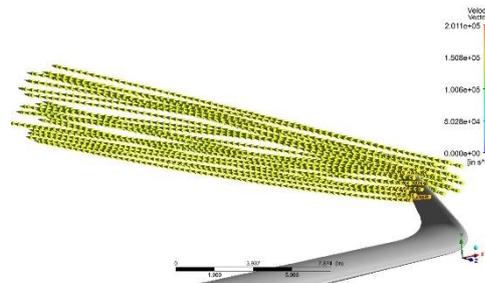
Gambar 14. *Trailing Vortices* Pada Winglet *Canted* dengan Sudut *Cant* 90°



Gambar 15. *Trailing Vortices* Pada Winglet Blended dengan Sudut Cant 30°



Gambar 16. *Trailing Vortices* Pada Winglet Blended dengan Sudut Cant 60°



Gambar 17. *Trailing Vortices* Pada Winglet Blended dengan Sudut Cant 90°

4 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, berikut kesimpulan yang dapat diperoleh dan saran untuk penelitian kedepannya:

1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa winglet jenis *blended* pada sudut *cant* 30° merupakan yang terbaik, dengan peningkatan rasio *lift* terhadap *drag* (C_L/C_D) sebesar 3.3% dibandingkan dengan tanpa winglet dan mengurangi pembentukan *trailing vortices* di ujung sayap.
2. Tidak semua jenis winglet dan variasi sudut *cant* dapat meningkatkan *lift performance*, winglet dengan jenis *canted* pada sudut *cant* 60° dan 90° menunjukkan penurunan rasio *lift* terhadap *drag*.
3. Winglet sayap pesawat Hercules C-130J dapat meningkatkan efisiensi aerodinamis pada sudut *cant* yang rendah.
4. Penggunaan winglet jenis *blended* lebih baik untuk meningkatkan efisiensi aerodinamis daripada winglet jenis *canted*.
5. Penambahan winglet pada sayap pesawat Hercules C-130J dapat mengurangi aliran *trailing vortices* yang terbentuk diujung sayap.
6. Saran untuk penelitian kedepannya agar dapat melakukan variasi sudut *sweep* dan sudut *toe*, serta melakukan variasi jenis winglet untuk mengetahui variasi winglet terbaik pada sayap pesawat Hercules C-130J. Perlu diperhatikan juga penambahan winglet bisa meningkatkan *bending moment* dan mungkin membutuhkan penguatan struktural sayap.

Daftar Pustaka

- [1] T. Sessaiah, B. Vasu, K. V. K. Reddy, dan P. Bridjesh, "Analysis on air craft winglet at different angles by using CFD simulation," *Mater Today Proc*, vol. 49, hlm. 275–283, 2022.
- [2] *Pilot's handbook of aeronautical knowledge*, 2016th ed. Newcastle, WA: Aviation Supplies & Academics, 2023.
- [3] P. Panagiotou, P. Kaparos, dan K. Yakinthos, "Winglet design and optimization for a MALE UAV using CFD," *Aerosp Sci Technol*, vol. 39, hlm. 190–205, 2014.
- [4] M. A. Azlin, C. F. M. Taib, S. Kasolang, dan F. H. Muhammad, "CFD analysis of winglets at low subsonic flow," dalam *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2011, hlm. 6–8.
- [5] R. T. Whitcomb, "A design approach and selected wind tunnel results at high subsonic speeds for wing-tip mounted winglets," 1976.
- [6] R. T. Whitcomb, "Methods for reducing aerodynamic drag," dalam *NASA Conference Publication*, 1981, hlm. 10–13.
- [7] N. Anwar, L. R. Pinandhita, dan B. D. Adiputra, "Design And Analysis of CFD Geometry Configuration Canted Winglet Toward Aerodynamic Characteristic on Wing Profil of The UAV LSU-05," *Vortex*, vol. 2, no. 1, hlm. 20, Apr 2021, doi: 10.28989/vortex.v2i1.931.
- [8] Y. E. Lage, "Structural Analysis for Lockheed Martin C-130H Wing," 2009.
- [9] A. H. Kazim dkk., "CFD analysis of variable geometric angle winglets," *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 94, no. 2, hlm. 289–301, 2022.
- [10] N. J. Mulvany, L. Chen, J. Y. Tu, dan B. Anderson, "Steady-state evaluation of 'two-equation' RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) turbulence models for high-reynolds number hydrodynamic flow simulations," Citeseer, 2004.
- [11] G. A. Munoz, "Lecture 7: Mesh Quality & Advanced Topics," ANSYS Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2015.