



Analisis Numerik Pengaruh Variasi Tinggi Vortex Generator terhadap Karakteristik Aerodinamika Sayap Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD)

Rilis Eka Perkasa ^{1*}, Imam Mashudi ¹, Chandra Gunawan ¹, dan Utsman Syah Amrullah ¹

¹ Politeknik Negeri Malang.

* Korespondensi: rilis@polinema.ac.id

Sitasi: Perkasa, Rilis Eka.; Mashudi, Imam.; Gunawan, Chandra; Amrullah, Utsman Syah. (2025). Analisis Numerik Pengaruh Variasi Tinggi Vortex Generator terhadap Karakteristik Aerodinamika Sayap Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD). J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, V(4) N(2), hlm. 112-119



Copyright: © 2025 oleh para penulis. Karya ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Abstract: A vortex generator is an aerodynamic device installed on wings or other surfaces to enhance lift and delay stall at high angles of attack. This study aims to analyze the effect of vortex generator installation on the aerodynamic characteristics of a straight wing. Numerical simulations were conducted using the computational fluid dynamics (CFD) method on a three-dimensional wing model with a NACA 4412 airfoil section. Triangular vortex generators with heights of 10 mm and 20 mm were applied, while a clean wing without vortex generator was used as a reference. The wing was subjected to an airflow velocity of 50 m/s at several angles of attack. The main parameters observed were the lift coefficient (C_L), drag coefficient (C_D), and flow visualization around the wing surface. The simulation results show that the addition of a 10 mm vortex generator increases C_L at higher angles of attack compared to the clean wing. In contrast, the installation of a 20 mm vortex generator primarily resulted in a higher C_D and did not provide a positive contribution to lift performance. Overall, it could be concluded that for this research configuration, the 10 mm vortex generator increase the aerodynamic performance of the wing.

Keywords: Aerodynamics; CFD; Vortex Generator; Wing.

Abstrak: Vortex generator adalah komponen aerodinamika yang dipasang pada sayap maupun objek lainnya yang bertujuan untuk meningkatkan gaya angkat dan menunda terjadinya stall/hilangnya gaya angkat pada kondisi sudut serang yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan vortex generator terhadap karakteristik aerodinamika sayap lurus. Simulasi dilakukan menggunakan metode numerik computational fluid dynamics (CFD) pada model sayap 3 dimensi dengan penampang airfoil NACA 4412 yang dipasang vortex generator triangular dengan tinggi 10 mm, 20 mm, dan sayap tanpa vortex generator sebagai pembanding. Sayap dialiri udara dengan kecepatan 50 m/s searah sumbu x dan diuji pada beberapa sudut serang. Parameter utama yang diamati antara lain koefisien gaya angkat (C_L), koefisien gaya hambat (C_D), dan visualisasi pola aliran di sekitar permukaan sayap. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan vortex generator berukuran 10 mm dapat meningkatkan nilai C_L pada sudut serang tinggi dibandingkan sayap tanpa vortex generator. Sebaliknya, pemasangan vortex generator berukuran 20 mm hanya menghasilkan koefisien gaya hambat (C_D) yang lebih besar dan tidak berkontribusi secara positif terhadap C_D . Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa untuk konfigurasi penelitian ini vortex generator dengan tinggi 10 mm dapat meningkatkan performa aerodinamika sayap.

Kata kunci: Aerodinamika; CFD; Vortex Generator; Sayap.

1. Pendahuluan

Vortex generator merupakan komponen aerodinamika yang dipasang pada sayap pesawat untuk meningkatkan performa aerodinamisnya dengan mengubah kondisi aliran di sekitarnya. Pada dasarnya, vortex generator bekerja dengan menimbulkan adanya pusaran udara/vortex di sekitar permukaan sayap. Dengan adanya vortex, udara

berenergi rendah akan ditukar dengan udara yang memiliki energi mekanik lebih tinggi dari aliran udara bebas/*free stream*. Akibatnya, separasi/lepasnya aliran udara pada sayap dapat dicegah dan sayap dapat menghasilkan gaya angkat yang lebih tinggi pada sudut serang/*angle of attack* yang lebih tinggi. Adanya *vortex generator* memungkinkan pesawat mengurangi nilai kecepatan minimum lepas landas dan kecepatan *stall* (*stall speed*), di mana pesawat dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang lebih besar di kecepatan yang lebih rendah [1].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran *vortex generator* terhadap koefisien gaya angkat (C_L) dan koefisien gaya hambat (C_D) sayap dengan airfoil NACA 4412 serta karakteristik aliran yang dihasilkan akibat pemasangan *vortex generator*.

1.1 Aerodinamika Sayap Pesawat

Sayap merupakan komponen utama pada pesawat udara yang berfungsi menghasilkan gaya angkat (*lift*). Gaya ini timbul akibat perbedaan tekanan udara di atas dan di bawah permukaan sayap. Bentuk penampang sayap atau *airfoil* dirancang untuk mengarahkan aliran udara sehingga kecepatan aliran di bagian atas sayap lebih tinggi dibandingkan bagian bawahnya. Berdasarkan Prinsip Bernoulli, perbedaan kecepatan tersebut menimbulkan perbedaan tekanan, dengan tekanan yang lebih tinggi berada di bawah sayap. Akibatnya, pesawat memperoleh gaya angkat yang memungkinkannya untuk terbang melawan gaya gravitasi, di mana semakin besar kecepatan aliran udara di sekitar sayap, semakin besar pula gaya angkat yang dihasilkan [2].

Selain gaya angkat, gaya aerodinamika lainnya yang bekerja pada pesawat adalah gaya hambat (*drag*), yang muncul akibat resistensi udara ketika pesawat bergerak melewati medium udara. Nilai gaya hambat dipengaruhi oleh gesekan/gaya geser antara udara dengan permukaan pesawat, geometri sayap dan pesawat, serta karakteristik aliran udara. Desain sayap memiliki peran yang penting dalam mengurangi gaya hambat sehingga efisiensi terbang meningkat. Dalam penerbangan, gaya angkat dan gaya hambat selalu berinteraksi dengan gaya dorong (*thrust*) dari mesin serta gaya gravitasi akibat berat pesawat. Keempat gaya inilah secara bersamaan mempengaruhi kemampuan pesawat untuk terbang dan bermanuver [2,3].

Besar gaya angkat dan gaya hambat yang dihasilkan oleh sayap memiliki kaitan yang erat dengan sudut serang atau *angle of attack* (AoA), yaitu sudut antara arah datang aliran udara dengan *chord line* sayap (garis yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge* airfoil). Sudut serang memengaruhi besar gaya angkat maupun gaya hambat. Peningkatan sudut serang umumnya akan meningkatkan gaya angkat hingga mencapai nilai optimum. Ketika sudut serang sudah mencapai suatu nilai batas tertentu, sayap mengalami *stall*, yaitu kondisi terlepasnya aliran udara dari permukaan atas sayap yang mengakibatkan penurunan gaya angkat secara drastis. Sudut kritis tempat *stall* terjadi dikenal sebagai sudut *stall/stall angle*, dengan gaya angkat maksimum yang dapat dicapai berada tepat pada titik tersebut [2,3].

Hubungan antara sudut serang dan koefisien gaya angkat (koefisien yang menunjukkan besarnya gaya angkat yang dihasilkan sayap, C_L) biasanya digambarkan dalam suatu kurva karakteristik yang menunjukkan perubahan C_L terhadap variasi sudut serang, nilai C_L pada sudut serang = 0, besar sudut *stall*, serta gaya angkat maksimum yang dapat dihasilkan. Setiap tipe airfoil memiliki karakteristik kurva yang berbeda, sesuai dengan bentuk geometrinya.

Secara umum, gaya angkat dari sayap dapat dihitung dengan persamaan (1), sedangkan gaya hambat sayap dihitung dengan persamaan (2)

$$L = C_L \frac{\rho v^2}{2} A \quad (1)$$

$$D = C_D \frac{\rho v^2}{2} A \quad (2)$$

di mana:

L = Gaya angkat (N)

D = Gaya hambat (N)

C_L = Koefisien gaya angkat

C_D = Koefisien gaya hambat

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

v = Kecepatan aliran udara

A = Luas proyeksi sayap (m^2 , dihitung dari panjang *chord line* x panjang bentang sayap)

Nilai C_L dan C_D menandai besarnya gaya angkat dan gaya hambat suatu sayap dengan kondisi geometri tertentu. Secara matematis, nilai C_L akan meningkat seiring dengan peningkatan sudut serang, hingga mencapai nilai tertentu di mana nilai C_L akan turun secara drastis. Turunnya nilai C_L inilah yang secara fisik disebut sebagai *stall*. Sementara untuk C_D , nilainya akan terus meningkat secara eksponensial seiring dengan meningkatnya sudut serang.

1.2 Vortex Generator pada Sayap Pesawat

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan performa sayap, di antaranya dengan mengoptimalkan gaya angkat dan menunda terjadinya *stall*. Dengan demikian, pesawat dapat terbang pada sudut serang lebih besar sehingga dapat mempertahankan gaya angkat yang memadai pada kecepatan rendah. Salah satu perangkat yang umum digunakan untuk tujuan ini adalah *vortex generator*. Perangkat ini berupa sekumpulan elemen aerodinamika kecil yang dipasang pada permukaan atas maupun bawah sayap dengan fungsi utama memanipulasi pola aliran udara di sekitarnya. Secara prinsip, *vortex generator* menciptakan pusaran-pusaran kecil yang mampu meningkatkan gaya angkat dan menunda terjadinya *stall* [4].

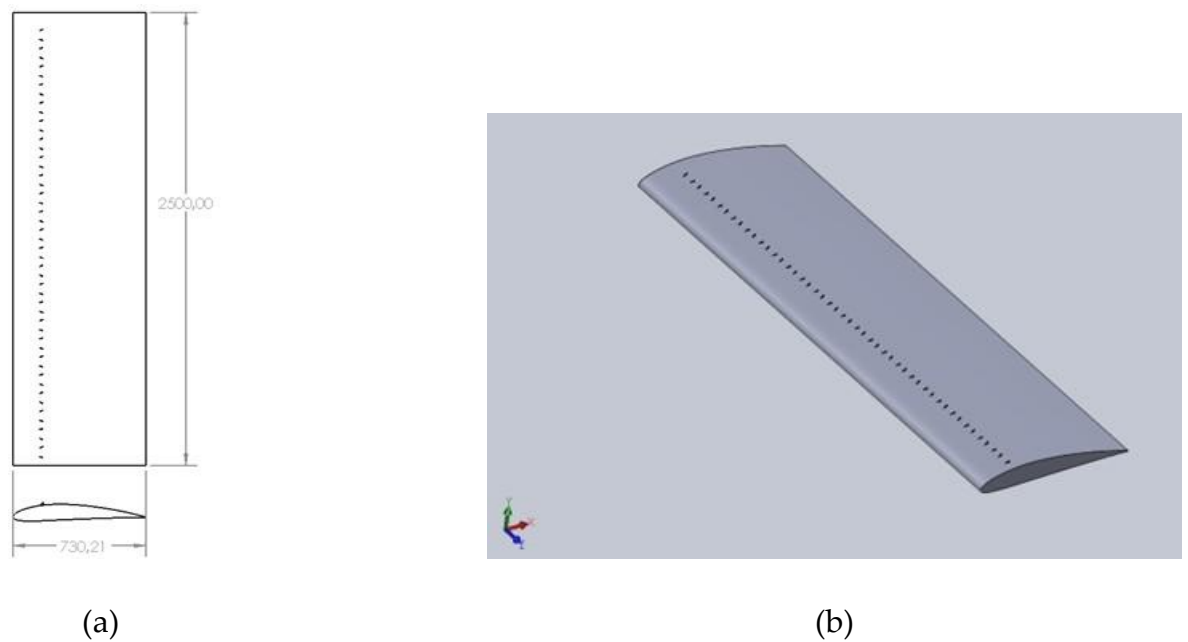
Mekanisme kerja dari *vortex generator* berkaitan dengan pengendalian lapisan batas (*boundary layer*) antara udara dengan permukaan sayap. Ketika aliran udara melewati *vortex generator*, terbentuk pusaran yang mendorong terjadinya pertukaran udara berenergi rendah pada lapisan batas dengan udara berenergi lebih tinggi dari aliran bebas. Proses ini meningkatkan energi lapisan batas sehingga aliran udara tetap menempel pada permukaan sayap dan tidak mengalami separasi. Dengan demikian, risiko *stall* dapat ditekan, terutama saat pesawat beroperasi pada sudut serang tinggi, misalnya ketika lepas landas atau mendarat. Dengan bantuan *vortex generator*, pesawat dapat meningkatkan sudut serang sehingga dihasilkan nilai gaya angkat yang tinggi walaupun kecepatan lepas landas yang dicapai masih rendah [4,5].

Kinerja *vortex generator* dipengaruhi oleh sejumlah parameter geometris dan konfigurasi pemasangan. Faktor-faktor tersebut mencakup arah putaran pusaran yang dibangkitkan, bentuk elemen (umumnya berbentuk persegi panjang, segitiga, atau *gothic*), ukuran elemen (panjang l dan tinggi h), jarak antar elemen (λ), serta sudut kemiringan terhadap arah aliran udara (β_{pd}). Kombinasi parameter ini menentukan interaksi vortex yang terbentuk baik antar elemen maupun dengan aliran utama di sekitar sayap. Dengan pengaturan parameter yang tepat, *vortex generator* dapat dioptimalkan untuk mendukung performa aerodinamika sayap secara menyeluruh [6,7].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengamati pengaruh berbagai parameter di atas terhadap performa *vortex generator* pada sayap. Azmi dan Sasongko [8] menganalisis airfoil NASA LS-0417 dengan beberapa variasi konfigurasi dan menemukan bahwa tinggi *vortex generator* yang optimum adalah 1 mm, sementara posisi optimum *vortex generator* adalah pada 30–40% *chord length*. Konfigurasi tersebut mampu meningkatkan rasio gaya angkat terhadap gaya hambat (C_L/C_D) hingga 14,3%. Selanjutnya, Ramadanny dkk. [9] meneliti penambahan *vortex generator* pada sayap dengan airfoil NACA 4412 untuk pesawat ringan JABIRU J430. Dengan konfigurasi *vortex generator* berbentuk segitiga dengan panjang 40 mm, tinggi 20 mm, dan penempatan pada posisi 15% *chord length*, terjadi peningkatan C_L maksimum dari 0,997 menjadi 1,126 serta penundaan *stall* dari sudut serang 20° menjadi 24°. Studi Herdiana dan Hartono [1] pada sayap LSU-05 dengan airfoil NACA 4415 juga memperlihatkan bahwa bentuk dan posisi *vortex generator* berpengaruh terhadap kinerja aerodinamika dari *vortex generator*, di mana konfigurasi berbentuk segitiga pada 20% *chord length* berakibat pada peningkatan C_L maksimum dan sudut *stall* paling signifikan. Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang berfokus pada beberapa jenis airfoil yang berbeda serta perbedaan bentuk yang signifikan pada *vortex generator*, penelitian ini berfokus pada sayap dengan airfoil NACA 4412 dengan konfigurasi *straight wing* dengan *vortex generator* berbentuk segitiga berukuran panjang dasar 20 mm, serta variasi tinggi 10 dan 20 mm.

2. Bahan dan Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan menggunakan simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang merupakan metode numerik untuk pemodelan aliran fluida. Untuk simulasi, model sayap yang digunakan adalah satu sisi (*half span*) sayap lurus (*straight wing*) yang memiliki penampang airfoil NACA 4412. *Vortex generator* dipasang pada posisi 20% *chord length*. Sayap tanpa *vortex generator* juga dimodelkan untuk simulasi sebagai pembanding. Gambar skematik dan model 3D dari sayap dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan dimensi dari sayap *half span* dapat dilihat pada Tabel 1.

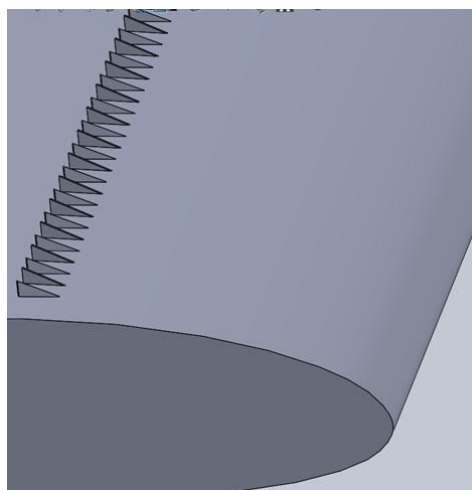


Gambar 1. (a) Gambar skematik dan (b) model 3D sayap dengan *vortex generator* terpasang di permukaan atas sayap

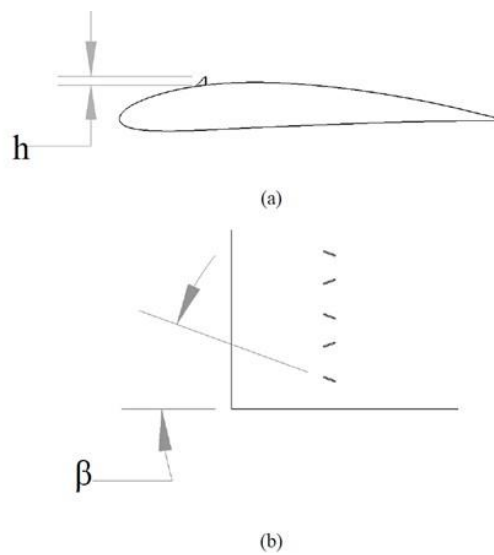
Tabel 1. Geometri sayap *half span*.

Parameter	Nilai
<i>Half span</i>	2500 mm
Luas Proyeksi Sayap	1825000 m ²
<i>Chord length</i>	730.21 mm
Posisi <i>Vortex Generator</i>	20% <i>chord length</i> ; 146 mm dari <i>leading edge</i>

Vortex generator yang dipilih berbentuk segitiga dengan panjang dasar sebesar 20 mm. Bentuk umum *vortex generator* triangular dapat dilihat di Gambar 2. Sudut kemiringan *vortex generator* terhadap arah kedatangan aliran udara (β) adalah sebesar 16° . Variabel bebas *vortex generator* yang dipilih adalah parameter tinggi (h) di mana variasi tinggi *vortex generator* yang digunakan adalah 10 dan 20 mm. Variasi nilai h ini dipilih karena mewakili rentang ukuran *vortex generator* yang umum digunakan pada pesawat ringan. Ilustrasi parameter β dan h dapat dilihat pada Gambar 3. Aliran udara diatur pada kecepatan 50 m/s dengan sudut serang $0-20^\circ$.



Gambar 2. Bentuk tipikal *vortex generator* triangular



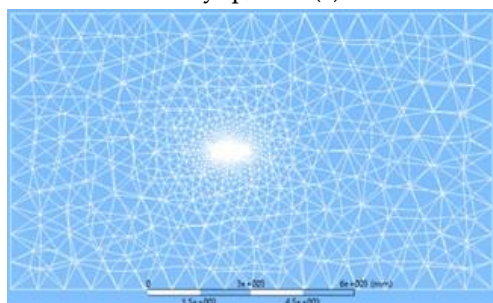
Gambar 3. Parameter variabel *vortex generator* (a) tinggi dan (b) sudut kemiringan *vortex generator*

Tabel 2 menjelaskan parameter dan kondisi batas dari simulasi yang dilakukan.

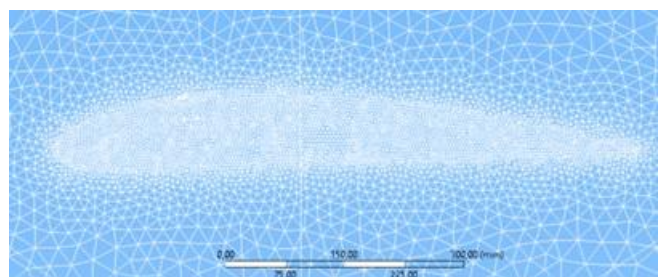
Tabel 2. Parameter Simulasi.

Parameter	Nilai
Turbulence model	k-Epsilon
Material	Air at 25°C
Density	1.185 kg/m ³
Dynamic viscosity	1.831 × 10 ⁻⁵ kg/ms
Reference pressure	1 atm
Kondisi batas sayap	Wall
Kondisi batas domain	Wall
Initial x velocity	50 m/s
Mesh type	Tetragonal
Face mesh size domain	800 mm
Face mesh size sayap	4 mm

Domain simulasi selanjutnya dilakukan diskretisasi menjadi mesh dengan bentuk tetragonal, dengan kerapatan yang lebih tinggi di sekitar area sayap dan *vortex generator*. Gambar 4 (a) menunjukkan mesh yang diperoleh, (b) detail mesh di sekitar sayap, dan (c) data statistik dari keseluruhan mesh.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Mesh domain, (b) detail mesh di sayap, dan (c) statistik dari mesh

Tabel 3. Statistik mesh.

Parameter	Nilai
Jumlah node	1302413
Jumlah Elemen	7057156
Skewness minimal	3.11×10^{-5}
Skewness maksimal	0.84244
Skewness rata-rata	0.22702

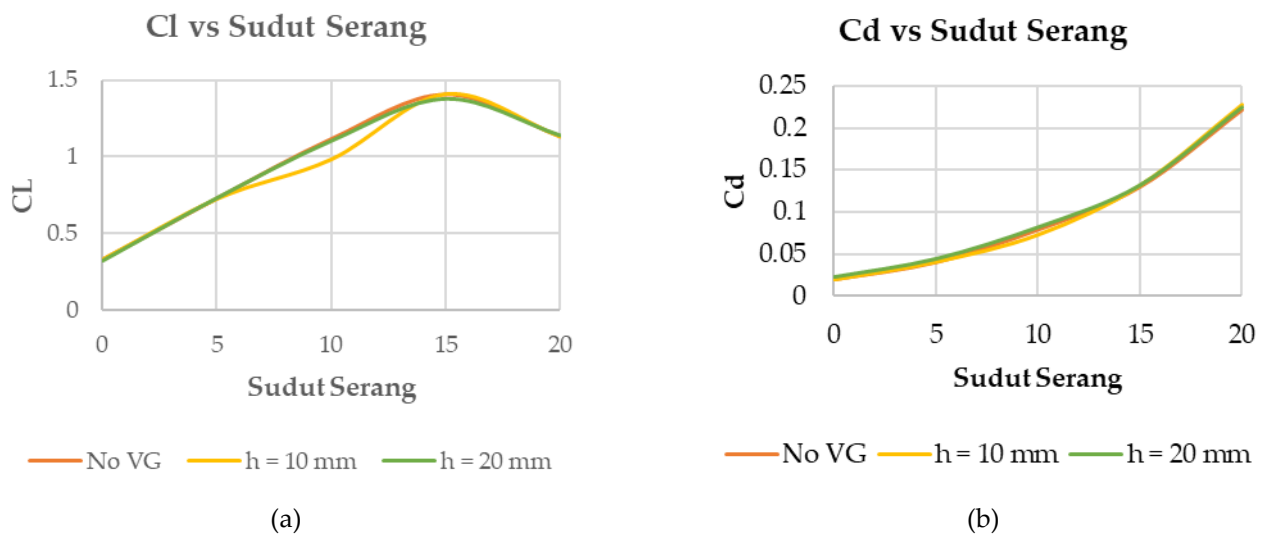
3. Hasil

Setelah simulasi dilakukan, diperoleh data gaya angkat dan gaya hambat yang dihasilkan oleh sayap. Selanjutnya, nilai C_L dan C_D untuk tiap sayap pada beberapa nilai sudut serang dihitung dengan memodifikasi persamaan (1) dan (2). Nilai C_L dihitung dengan persamaan (3), sedangkan C_D dengan persamaan (4).

$$C_L = \frac{L}{0.5\rho v^2 A} \quad (3)$$

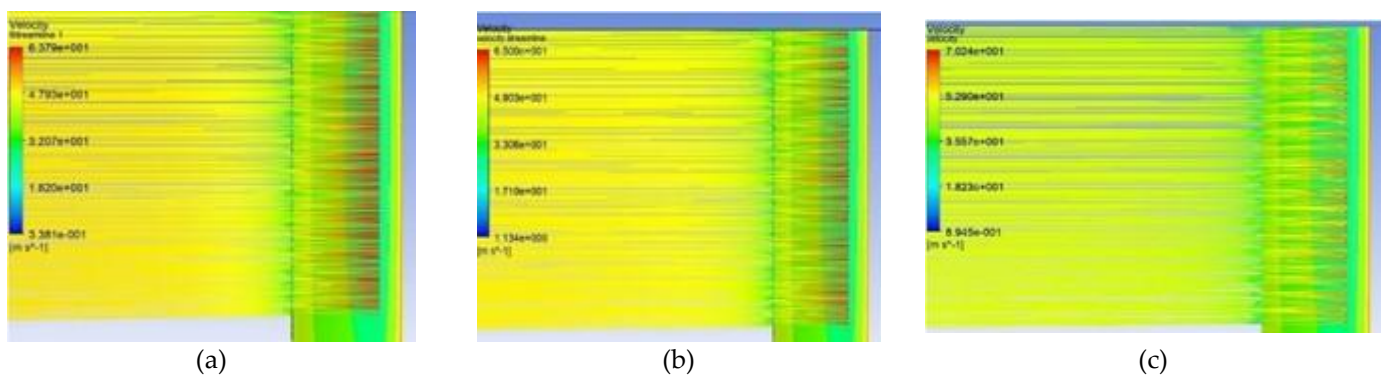
$$C_D = \frac{D}{0.5\rho v^2 A} \quad (4)$$

Selanjutnya, kurva C_L vs sudut serang dan C_D vs sudut serang diplot untuk tiap sayap, yaitu sayap tanpa *vortex generator* (VG), sayap dengan tinggi VG 10 mm, dan sayap dengan tinggi VG 20 mm. Kurva C_L dan C_D vs nilai sudut serang ini dapat dilihat pada Gambar 5.

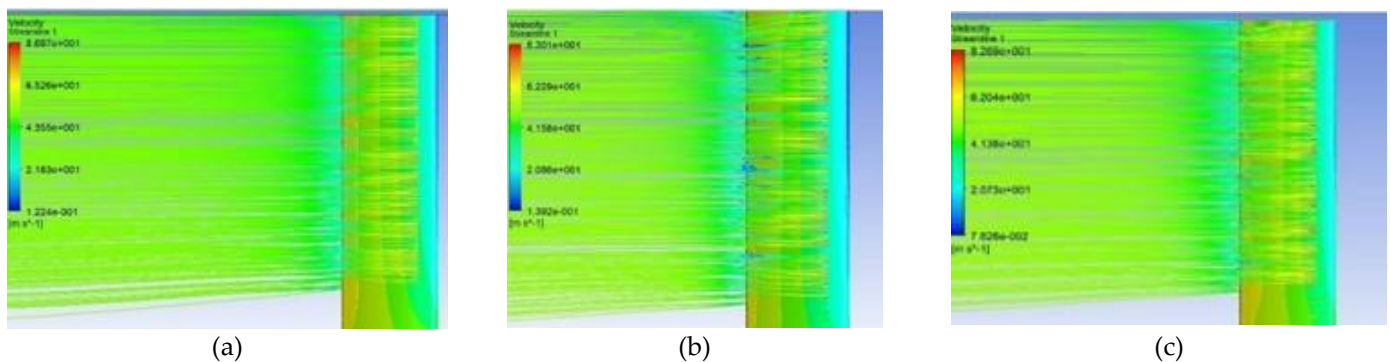


Gambar 5. (a) kurva C_L vs sudut serang dan (b) kurva C_D vs sudut serang

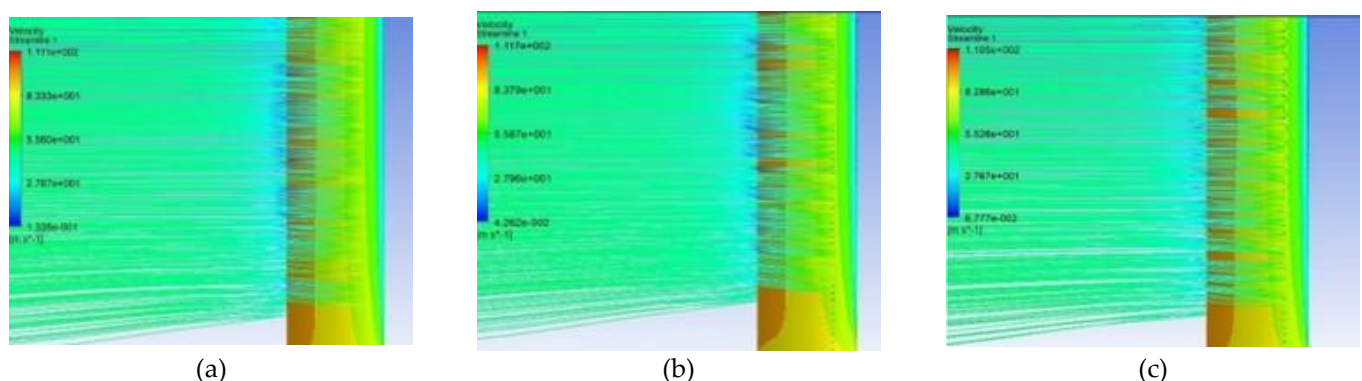
Gambar 6 hingga 8 menampilkan profil aliran udara dan kecepatan di permukaan atas sayap.



Gambar 6. Profil aliran udara pada sudut serang 0° (a) tanpa VG, (b) tinggi VG 10 mm, dan (c) tinggi VG 20 mm



Gambar 7. Profil aliran udara pada sudut serang 10° (a) tanpa VG, (b) tinggi VG 10 mm, dan (c) tinggi VG 20 mm



Gambar 8. Profil aliran udara pada sudut serang 15° (a) tanpa VG, (b) tinggi VG 10 mm, dan (c) tinggi VG 20 mm

4. Pembahasan

Gambar 6, 7, dan 8 memperlihatkan pola aliran di sekitar *vortex generator* yang menunjukkan adanya penyimpangan dan pembentukan *vortex* di permukaan atas sayap, sesuai dengan mekanisme kerja *vortex generator* dalam mempertahankan energi aliran. Dari gambar 5 (a), terlihat bahwa pada nilai sudut serang rendah, nilai C_L yang dihasilkan sayap dengan *vortex generator* lebih kecil daripada sayap tanpa *vortex generator*. Misalnya saat sudut serang $= 0^\circ$, nilai C_L sayap tanpa *vortex generator* adalah sebesar 0.335, sementara sayap dengan *vortex generator* 10 mm adalah 0.331, dan sayap dengan *vortex generator* 20 mm sebesar 0.325. Namun, di daerah sudut serang tinggi/mendekati nilai maksimal (15°), sayap dengan *vortex generator* 10 mm menghasilkan C_L yang paling tinggi, yaitu sebesar 1.410. Diikuti dengan sayap tanpa *vortex generator* yang menghasilkan C_L senilai 1.407. Sementara itu, sayap dengan *vortex generator* 20 mm justru mengalami penurunan nilai C_L yang signifikan menjadi 1.377. Berkurangnya nilai C_L yang dihasilkan oleh *vortex generator* yang lebih besar ini sejalan dengan penelitian Baldacchino dkk. [10] yang menemukan bahwa ukuran *vortex generator* yang terlalu besar apabila dibandingkan dengan lapisan batas antara udara dan permukaan sayap/airfoil dapat mengurangi efisiensi sayap pada sudut serang yang tinggi. Sementara itu pengurangan nilai C_L pada nilai sudut serang yang rendah konsisten dengan temuan Hao dkk. [11], di mana *vortex generator* hanya meningkatkan performa sayap pada sudut serang yang lebih tinggi dengan meningkatkan nilai C_L dan menunda

terjadinya *stall*. Pada sudut serang yang lebih rendah, pemasangan *vortex generator* justru menurunkan nilai C_L . Hal ini masih sejalan dengan fungsi utama pemasangan *vortex generator*, yaitu untuk meningkatkan performa sayap pada sudut serang tinggi.

Selanjutnya, dari Gambar 5 (b) penambahan *vortex generator* 10 mm pada sayap tidak memberikan dampak yang signifikan pada gaya hambat sayap. Dapat dilihat dari nilai C_D sayap dengan *vortex generator* 10 mm yang selisihnya tidak jauh dari C_D sayap tanpa *vortex generator* di seluruh sudut serang. Sementara itu, penambahan *vortex generator* 20 mm meningkatkan nilai C_D sayap. Semakin besar *vortex generator*, semakin besar pula geometri objek yang menghalangi aliran udara sehingga nilai gaya hambat yang dihasilkan akan meningkat akibat peningkatan *form drag*. Hasil ini sejalan dengan yang diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya [1,9].

Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa pemodelan CFD sayap dengan *vortex generator* pada penelitian ini sudah dapat menampilkan kinerja *vortex generator* pada sayap, di mana sayap dengan *vortex generator* 10 mm mengalami peningkatan nilai gaya angkat pada sudut serang tinggi. Penambahan *vortex generator* 20 mm tidak memberi peningkatan performa aerodinamika secara signifikan, dan justru meningkatkan gaya hambat secara umum pada sayap.

5. Kesimpulan

Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa pemodelan CFD sayap dengan *vortex generator* pada penelitian ini sudah dapat menampilkan kinerja *vortex generator* pada sayap. Dari kedua jenis *vortex generator* yang dimodelkan, diketahui bahwa *vortex generator* 10 mm memiliki peran yang optimum terhadap performa aerodinamika sayap. *Vortex generator* yang terlalu besar dapat menambah terlalu banyak gaya hambat, namun tidak memperbaiki kinerja sayap pada sudut serang tinggi. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan untuk mempelajari korelasi antara ukuran *vortex generator* dan rancangan sayap yang berbeda serta pengaruh kondisi aliran udara yang berbeda pada performa *vortex generator*. Selain itu, studi eksperimental untuk memverifikasi hasil pemodelan juga diperlukan sehingga hasilnya dapat diaplikasikan secara lebih akurat pada pesawat ringan berskala nyata.

Referensi

- [1] Herdiana, D., Hartono, F. "Analisa Pemilihan Bentuk Vortex Generator untuk Sayap Pesawat LSU-05 Menggunakan Metode Numerik" Jurnal Teknologi Dirgantara, vol. 18, no. 1, 2020.
- [2] Anderson, J.D. Fundamentals of Aerodynamics, 5th Edition. New York, United States of America: McGraw-Hill, 2011
- [3] Federal Aviation Administration Aviation Maintenance Technician Handbook - Airframe, Volume 1 FAA-H-8083-31A, U.S. Department of Transportation, 2018.
- [4] Wang, J., Feng, L. Flow Control Techniques and Applications. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2018.
- [5] Hasan, A. Q., Iqbal, M.A., Azeez, A. A., Al-Khudiri, N. M., Dol, S. S., Gadala, M. S. "Aerodynamics Analysis on Wings with Winglets and Vortex Generators," WSEAS Transactions on Fluid Mechanics, vol. 15 pp193-201, 2020.
- [6] Gonzales, P., Qin, N., Ming, X. "Novel Spanwise Vortex Generator for Separation Control on BFS: Experiment and Simulation" in Qin, N., Periaux, J., Bugea, G. Advances in Effective Flow Separation Control for Aircraft Drag Reduction. Springer International Publishing, pp255-264, 2019
- [7] Zhen, T. K., Zubair, M., Ahmad, K. A. "Experimental and Numerical Investigation of The Effects of Passive Vortex Generators on Aludra UAV Performance," Chinese Journal of Aeronautics, no. 24 pp577-583, 2011.
- [8] Azmi, U., Sasongko, H. "Studi Eksperimen dan Numerik Pengaruh Penambahan Vortex Generator pada Airfoil NASA LS-0417," Jurnal Teknik ITS, vol. 6, no. 1, 2017.
- [9] Ramadanny, S.G., Rabeta, B., Supriyanto, A. "Analisis Aerodinamika pada Sayap JABIRU J430 dengan Penambahan Vortex Generator menggunakan Metode CFD". Jurnal Teknologi Kedirgantaraan, vol. 7, no. 1, pp15-33, 2022.
- [10] Baldacchino, D., Ferreira, C., De Tavernier, D., Timmer, W.A., van Bussel, G. J. W. "Experimental Parameter Study for Passive Vortex Generators on a 30% Thick Airfoil," Wind Energy, vol. 21, no. 9 pp 745-765, 2018.
- [11] Hao, L., Hu, B., Gao, Y., Wei, B. "Effect of Vortex Generator Spanwise Height Distribution Pattern on Aerodynamic Characteristics of a Straight Wing," Advances in Aerodynamics, vol. 5, no. 4, 2023.