

Simulasi Pengaruh *Winglet* Terhadap Performa Pesawat Terbang Pada Ketinggian 35.000 Kaki

Muhamad Yusup Kamal Arkan¹, Sugianto²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : muhamad.yusup.aer19@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : sugianto@polban.ac.id

ABSTRAK

Winglet adalah aksesoris pada sayap pesawat yang dapat meningkatkan performa tanpa harus memperpanjang bentangan sayap. *Winglet* memiliki bentuk seperti sirip yang dipasang pada ujung sayap, ataupun berupa ujung sayap yang ditekuk ke arah vertikal. *Winglet* berfungsi untuk mengurangi gaya hambat yang berupa vorteks pada ujung sayap (*tip trailing vortex*). Hal tersebut terjadi karena udara bagian bawah sayap yang bertekanan tinggi pada ujung sayap ikut mengalir ke aliran udara bagian atas sayap yang bertekanan rendah yang mengakibatkan terjadinya vortek dis. Metode eksperimen yang akan digunakan pada studi kali ini adalah simulasi menggunakan *software* Gambit dan Fluent. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, didapatkan performa aerodinamika dan fenomena aliran udara pada ujung sayap dengan hasil yang telah didapatkan yaitu sayap tanpa *winglet* memiliki nilai efisiensi aerodinamika terkecil dan aliran vortex yang terlihat lebih jelas dibandingkan dengan sayap yang memiliki *winglet*, sedangkan konfigurasi sayap dengan nilai efisiensi aerodinamika tertinggi dimiliki oleh sayap dengan konfigurasi *split winglet*.

Kata Kunci

Winglet, Vorteks, Simulasi, Efisiensi

1. PENDAHULUAN

Performa sebuah pesawat terbang adalah salah satu hal yang penting dan hal yang patut diperhatikan dari perancangan hingga perawatan. Efisiensi aerodinamik adalah salah satu bagian yang memengaruhi kualitas performa pada pesawat terbang. Efisiensi aerodinamika dapat dioptimalkan dengan cara mengurangi gaya hambat (*drag*) yang dihasilkan oleh pesawat tersebut. Salah satunya adalah Vorteks yang terjadi pada *wingtip (tip trailing vortices)* yang termasuk dalam *induce drag*. Vorteks tersebut dapat menimbulkan beberapa masalah pada pesawat saat melakukan kegiatan penerbangan, diantaranya konsumsi bahan bakar yang berlebih dikarenakan besarnya gaya hambat dan suara bising yang dihasilkan oleh vorteks [2] [3].

Dunia dirgantra telah memiliki sebuah ide untuk mengurangi besarnya *tip trailing vortices* yaitu dengan cara menekuk bagian ujung sayap, atau bisa disebut *winglet*. Fungsinya yaitu dengan mengecilkan vorteks yang mengalir berputar kebelakang pada

wingtip. Hal tersebut dapat mengurangi gaya hambat pada pesawat.

Pengurangan gaya hambat tersebut dapat berpengaruh pada konsumsi bahan bakar pada saat pengoperasian pesawat terbang, yang secara tidak langsung dapat lebih menghemat penggunaannya. Selain bermanfaat untuk manusia itu sendiri, pengurangan konsumsi bahan bakar dapat bermanfaat juga untuk alam, yaitu dapat mengurangi emisi gas buang [4].

Namun tidak semua pesawat terbang harus menggunakan *winglet*, contohnya yaitu karena masalah pembuatannya dan masalah penambahan beban pada struktur sayap pesawatnya. *Winglet* pun tidak cocok untuk pesawat yang beroperasi pada sudut serang tinggi ataupun pesawat manuver. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian terlebih dahulu.

Berdasarkan pemaparan tersebut, pengaruh *winglet* terhadap efisiensi aerodinamik mampu dilakukan pengkajian dengan menggunakan aplikasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Dengan melakukan simulasi tersebut, diharapkan hasilnya dapat dilihat melalui bentuk vorteks yang

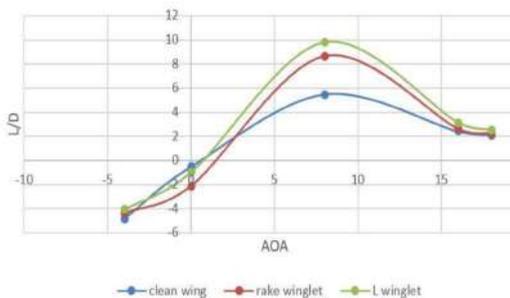
dihasilkan dan nilai perbandingan antara nilai *lift* dan *drag*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

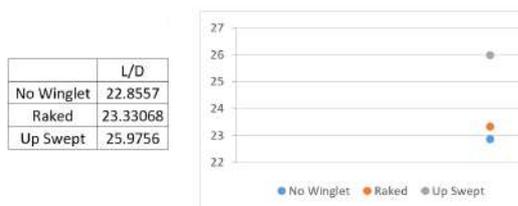
Dalam studi simulasi yang telah dilakukan oleh Dr. Basawaraj dkk. [6], analisis komputasi dilakukan pada sayap NACA-65(3)-218 dengan tujuan mengurangi gaya hambat yang diinduksi gaya angkat, yang menyumbang hampir 30 – 40% dari total gaya hambat yang dihasilkan oleh sayap [6].

Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa *Rake* dan *L-winglet* berkinerja lebih baik daripada *clean winglet* pada sudut serang yang lebih tinggi. *Winglet Rake* berkinerja lebih baik daripada *winglet* bersih dengan rasio L/D tinggi 8 pada sudut serang 8°. Dan *L - Winglet* berkinerja lebih baik daripada *winglet* *clean* dan *Rake* dengan rasio L/D tinggi 10 pada sudut serang 8° dan kinerja ketiga konfigurasi sayap menurun saat sudut serang meningkat lebih tinggi dari 8° menjadi 16° [6].

Studi simulasi lain mengenai *winglet* salah satunya dilakukan oleh Anshuman Mehta [3], ia melakukan simulasi dengan variabel yang berbeda dengan yang dilakukan oleh Dr. Basawaraj dkk. [1]. Anshuman Mehta melakukan simulasi dengan geometri sayap dan kecepatan dalam kondisi aktual, juga airfoil yang berbeda, sehingga didapatkan hasil yang berbeda pula.



Gambar 1. Nilai efisiensi aerodinamika dari hasil simulasi yang telah dilakukan [1].

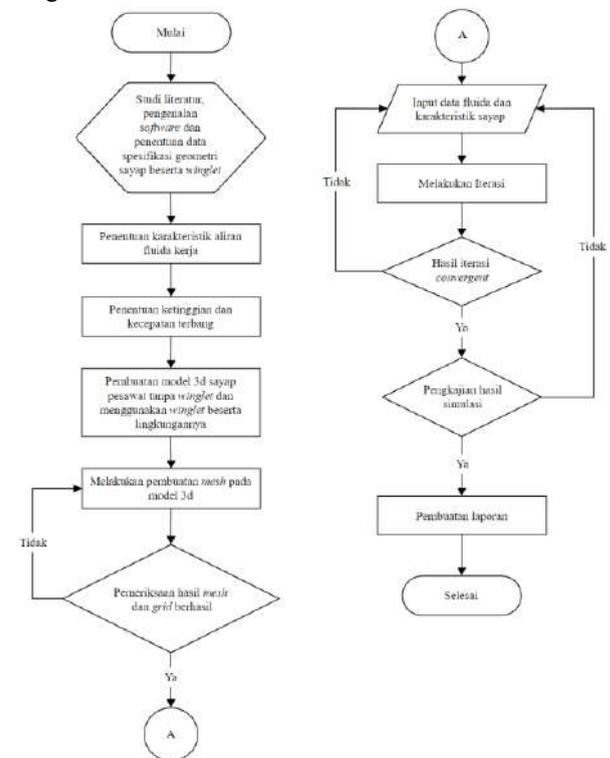


Gambar 2. Nilai efisiensi aerodinamika dari hasil simulasi yang telah dilakukan [3]

Jika dilihat dari hasil simulasi keduanya, sayap tanpa *winglet* memiliki hasil perbandingan L/D yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *rake* ataupun *up swept* (satu tipe dengan *L-winglet* pada pengujian Dr. Basawaraj, dkk.). Hal tersebut bisa terjadi karena pembentukan vorteks pada sayap tanpa *winglet* menghasilkan vorteks yang lebih besar dibandingkan dengan tipe *rake* ataupun *up swept*. Oleh karena itu dengan menambahkan *winglet* pada konfigurasi *clean wing* akan mengurangi *drag* yang dihasilkan karena pembentukan vortex pada ujung sayap.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian akan dilakukan seperti diagram alir di bawah ini.



Gambar 3. Diagram alir dalam penyelesaian penelitian

3.1 Penentuan Data Spesifikasi Geometri

Geometri sayap dan *winglet* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sayap dengan airfoil b737a-il pada bagian *root* dan airfoil b737d-il pada bagian *outboard*. Panjang bentang sayap dari *root* hingga *outboard* yaitu 15 meter dengan tipe *tapered swept back*. Geometri yang dibuat memiliki 1 konfigurasi sayap tanpa *winglet* dan 5 konfigurasi yang menggunakan *winglet*, jenis *winglet*-nya yaitu *canted winglet*, *blended*

*winglet, wingtip fence, split winglet, dan
raked winglet.*

3.2 Penentuan Karakteristik Fluida Kerja dan Kondisi Lingkungan Kerja

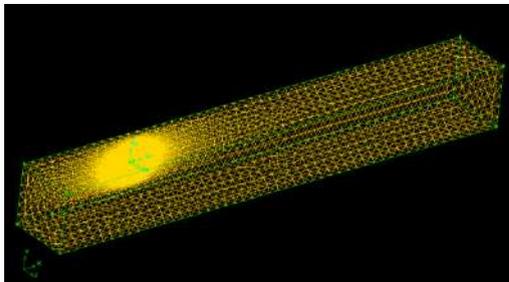
Sayap ini akan disimulasikan pada saat pesawat sedang *cruise* dengan kecepatan 0.65 Ma dengan karakteristik udara pada ketinggian 35.000 ft (kaki) dengan densitas udara 0,380455 kg/m³, viskositas 1,4341x10⁻⁵ kg/ms.

3.3 Pembuatan Model 3D dan Ruang Komputasi

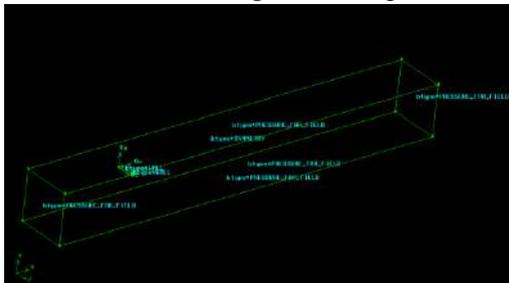
Pembuatan model 3D dari sayap dan *winglet* yang akan digunakan yaitu sesuai dengan geometri yang telah ditentukan pada sebelumnya. Pembuatan model 3D sayap dan *winglet* akan menggunakan aplikasi SolidWorks 2021. Untuk pembuatan ruang komputasi menggunakan aplikasi ANSYS Gambit.

3.4 Pembuatan Mesh dan Penentuan Zone

Pembuatan *Mesh* dilakukan dengan menggunakan aplikasi ANSYS Gambit. Model 3D yang telah dibuat akan dimuat kedalam aplikasi ini untuk dilaksanakan pembuatan *mesh*. Pembuatan *mesh* (*Meshing*) bertujuan untuk merepresentasikan lingkungan kerja dari objek yang akan disimulasi. Setelah *meshing* maka benda dan ruang komputasi akan didefinisikan sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 4. Hasil *meshing* salah satu geometri



Gambar 5. Hasil pendefinisian *zone* salah satu geometri

3.5 Input Data dan Iterasi

Dokumen hasil *meshing* akan dimuat kedalam aplikasi ANSYS Fluent untuk memasukan data karakteristik fluida kerja dan kondisi lingkungan kerja seperti pada Tabel 1. sebagai berikut.

Tabel 1. Pengaturan Pada Aplikasi ANSYS Fluent

Pengaturan Fluent	Definisi
Solver	Density Based, Green-Gauss Node Based
Viscous	Spalart-Allmaras; Strain/Vorticity-Based Production
Material	Density = Ideal-gas Viscosity = sutherland
Boundary Condition	Farfield, Velocity = 0.65 Ma Turbulent Viscosity Ratio. Thermal = 237 K
Initialization	Compute From: Farfield
TUI Command: Set FMG Initialization	Number of cycles on level 1 & 2 :100
Residual	Convergent Criterion: None
Monitors	
Reference Value	Compute From Farfield Area : Plain = 38.25 m ² , Canted = 38.5 m ² , Blended = 39.5 m ² , Wingtip Fence = 38.5 m ² , Split = 39.7 m ² , Raked = 39.5 m ² Density = 0,380455 kg/m ³ Viscosity = 1,4341e-05 kg/ms Temperature = 237 K Length = 2.55 m

Setelah seluruh data pada Tabel 1. terinput, langkah selanjutnya adalah melakukan iterasi pada aplikasi tersebut. Jika proses iterasi sudah selesai, maka aplikasi akan menampilkan data hasil simulasi yang akan ditampilkan dengan angka ataupun kurva.

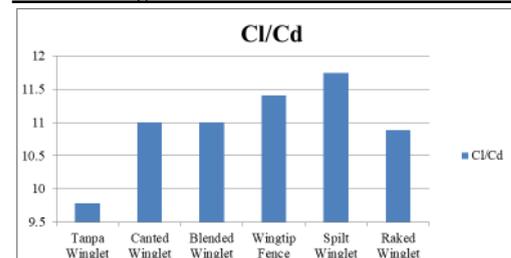
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Berikut adalah hasil yang didapatkan dari simulasi yang telah dilakukan

Tabel 2. Koefisien Aerodinamika yang didapat dari hasil simulasi

Konfigurasi Sayap	Cl	Cd	Cl/Cd
Tanpa Winglet	0.5436	0.0556	9.78
Canted Winglet	0.5610	0.0510	11
Blended Winglet	0.5578	0.0507	11
Wingtip Fence	0.5550	0.0487	11.40
Spilt Winglet	0.5451	0.0464	11.74
Raked Winglet	0.5497	0.0505	10.88



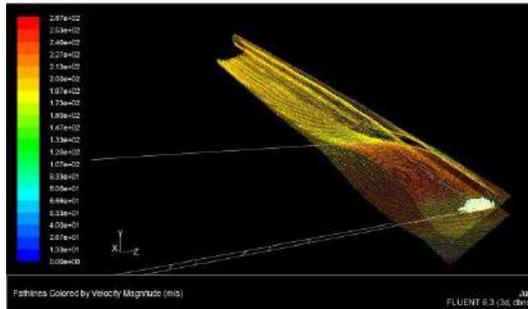
Gambar 6. Grafik Perbandingan Cl/Cd untuk setiap konfigurasi

Tabel 3. Gaya Aerodinamika yang telah dihitung

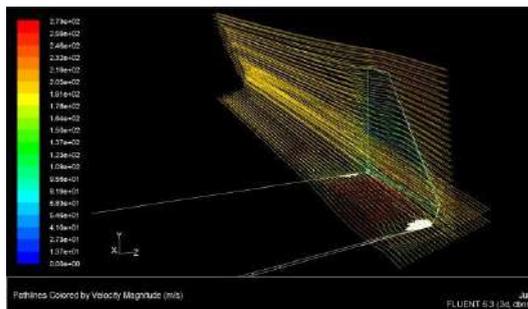
Konfigurasi Sayap	L (N)	D (N)
Tanpa Winglet	159133	16264
Canted Winglet	165297	15025
Blended Winglet	168629	15329
Wingtip Fence	163532	14341
Spilt Winglet	164793	14027
Raked Winglet	166180	15271

4.2 Pembahasan

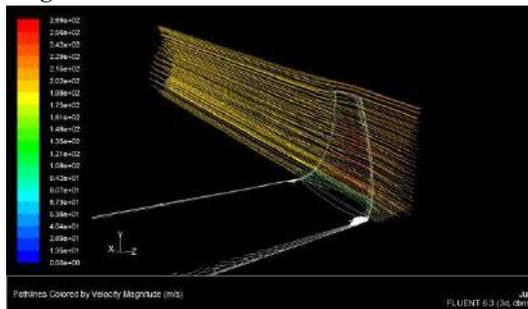
Hasil simulasi menunjukkan besarnya vorteks yang bekerja pada ujung sayap. Setiap geometri sayap dapat menghasilkan ukuran vorteks yang berbeda beda. Berikut adalah hasil dari simulasi yang ditampilkan berupa gambar.



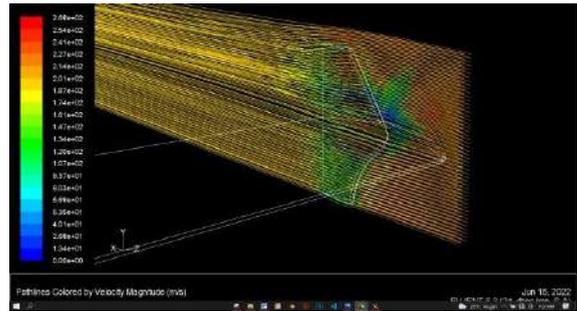
Gambar 7. Gambar aliran udara diwarnai berdasarkan kecepatan ujung sayap tanpa *winglet*



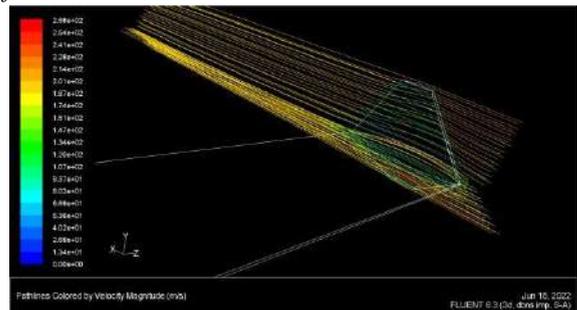
Gambar 8. Gambar aliran udara diwarnai berdasarkan kecepatan ujung sayap *canted winglet*



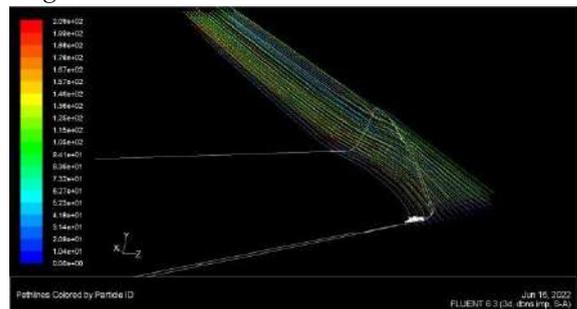
Gambar 9. Gambar aliran udara diwarnai berdasarkan kecepatan ujung sayap *blended winglet*



Gambar 10. Gambar aliran udara diwarnai berdasarkan kecepatan ujung sayap *wingtip fence*

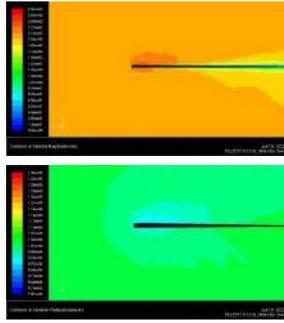


Gambar 11. Gambar aliran udara diwarnai berdasarkan kecepatan ujung sayap *split winglet*

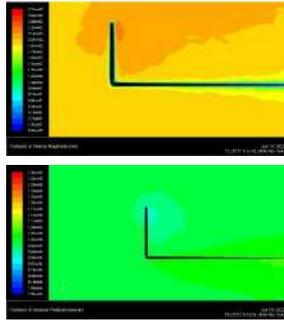


Gambar 12. Gambar aliran udara diwarnai berdasarkan kecepatan ujung sayap *raked winglet*

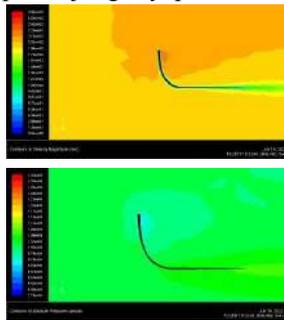
Berdasarkan hasil simulasi yang terdapat pada Tabel 3., nilai *drag* terbesar dimiliki oleh geometri sayap tanpa *winglet*. Dan jika dilihat dari aliran hasil simulasi, aliran yang membentuk vorteks terlihat jelas pada ujung sayap tanpa *winglet* (Gambar 7), sedangkan untuk geometri lain memiliki ukuran vorteks yang tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan sayap tanpa *winglet*. Hal tersebut dapat membuktikan bahwa besarnya vorteks memiliki pengaruh terhadap *drag* yang dihasilkan dari sebuah sayap. Selain dengan melihat dari aliran pada ujung sayap, fenomena terbentuknya vorteks pun dapat dilihat menggunakan kontur kecepatan ataupun tekanan dari hasil simulasi. Berikut adalah hasil dari kontur kecepatan dan tekanan untuk masing-masing geometri.



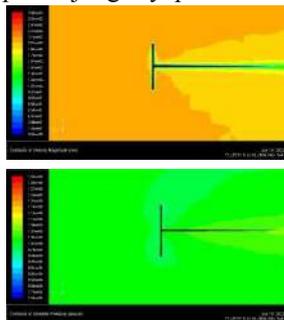
Gambar 13. Kontur kecepatan dan tekanan pada ujung sayap tanpa *winglet*



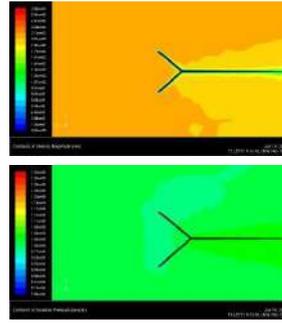
Gambar 14. Kontur kecepatan dan tekanan pada ujung sayap *canted winglet*



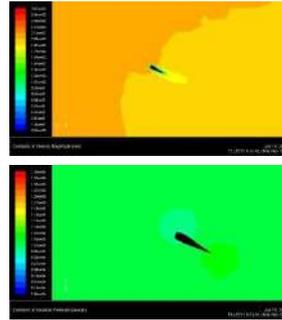
Gambar 15. Kontur kecepatan dan tekanan pada ujung sayap *blended winglet*



Gambar 16. Kontur kecepatan dan tekanan pada ujung sayap *wingtip fence*

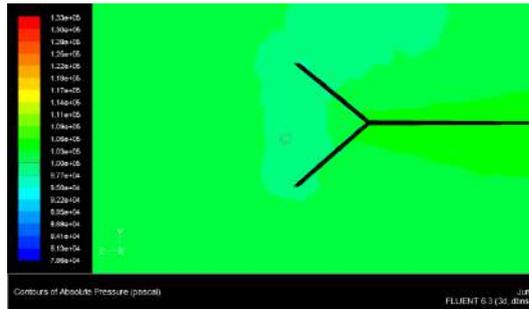


Gambar 17. Kontur kecepatan dan tekanan pada ujung sayap *split winglet*

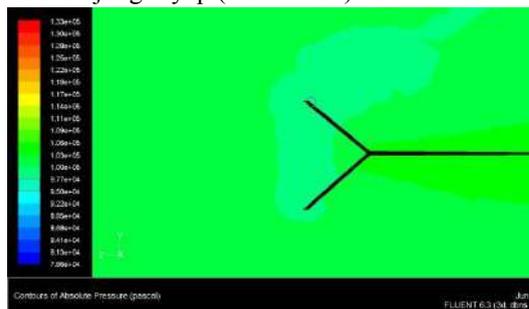


Gambar 18. Kontur kecepatan dan tekanan pada ujung sayap *raked winglet*

Berdasarkan hasil yang telah didapat bahwa penambahan *winglet* pada sayap dapat mengurangi besarnya nilai koefisien gaya hambat (C_d). Hal tersebut dapat dilihat melalui kontur kecepatan dan tekanan yang dihasilkan. Pada kontur kecepatan dan tekanan yang dimiliki oleh sayap tanpa *winglet* (Gambar 13), perubahan kecepatan di ujung *winglet* terlihat naik dan tekanan ikut menurun. Fenomena tersebut sesuai dengan karakteristik pada vorteks yaitu kecepatan akan naik dan tekanan akan turun di bagian daerah sekitar pembentukan vorteks, hal tersebut dapat dibandingkan pula dengan Gambar 7 yang menampilkan letak dan bentuk dari vorteks yang dihasilkan. Yang artinya akan adanya fenomena kecepatan yang meningkat dan tekanan sekitar yang turun dalam pembentukan vorteks. Pada kontur yang dihasilkan oleh geometri sayap *split winglet*, kontur yang dihasilkan tidak terlihat adanya sebuah kontur yang terpusat namun jika ditinjau lebih lanjut, pada kontur tekanan menampilkan sebuah titik kecil yang memiliki perbedaan tekanan di sekitar seperti pada Gambar 19. dan Gambar 20.

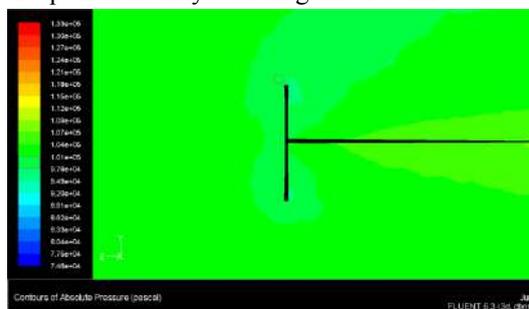


Gambar 19. Kontur tekanan pada ujung *split winglet* yang menunjukkan tekanan udara sekitar ujung sayap (tanda bulat)

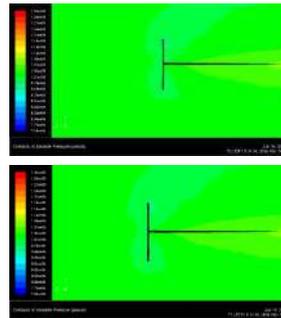


Gambar 20. Kontur tekanan pada ujung *split winglet* yang menunjukkan adanya tekanan yang menurun pada ujung sayap (tanda bulat) Nilai tekanan pada ujung *winglet* tersebut memiliki nilai tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan tekanan di sekitarnya. Dan jika dilihat dari letaknya, letak tersebut merupakan letak pembentukan vorteks. Hal tersebut sesuai dengan karakteristik vorteks. Yang mana jika vorteks terbentuk maka tekanan akan ikut menurun. Hal tersebut dapat disesuaikan juga dengan nilai hasil simulasi yang didapat, yaitu *split winglet* memiliki nilai koefisien gaya hambat (Cd) yang terkecil.

Jika dilihat secara kasat mata, kontur yang dihasilkan oleh *wingtip fence* menampilkan kontur tekanan yang sama rata, namun jika ditinjau menggunakan aplikasi, maka akan didapatkan hasilnya dalam gambar berikut.



Gambar 21. Kontur yang menunjukkan tekanan udara sekitar *wingtip fence* (tanda bulat)



Gambar 22. Kontur tekanan pada ujung sayap *wingtip fence* yang menunjukkan adanya tekanan yang menurun pada ujung sayap (tanda bulat)

Pada Gambar 22. *wingtip fence* memiliki lebih banyak titik penurunan tekanan yang digambarkan dengan kontur. Ada 2 titik kontur yang mengalami penurunan tekanan pada ujung *winglet*, jika ditinjau dari letaknya maka penyebabnya karena adanya pembentukan vorteks, namun konturnya tidak terlalu terlihat dengan jelas seperti kontur *split winglet*, yang artinya tekanan yang dihasilkan tidak jauh dari tekanan udara sekitar. Hal tersebut dapat disesuaikan juga dengan nilai hasil simulasi yang didapat, dan *wingtip fence* memiliki nilai koefisien gaya hambat (Cd) yang lebih besar dari *split winglet*.

Dengan demikian, geometri sayap yang menghasilkan vorteks yang lebih kecil akan menghasilkan nilai Cd yang lebih kecil dengan menampilkan kontur tekanan yang menurun ataupun kontur kecepatan yang naik dengan ukuran kontur yang kecil dan terpusat pada ujung sayap ataupun *winglet*.

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa:

1. Penambahan *winglet* pada ujung sayap dapat meningkatkan efisiensi aerodinamika.
2. Nilai efisiensi aerodinamika atau C_l/C_d terbesar didapatkan oleh konfigurasi *Split Winglet* dengan diikuti oleh *Wingtip Fence*, *Canted Winglet*, *Blended Winglet*, *Raked Winglet*, yang hasilnya didapatkan dari peninjauan data berupa bentuk aliran, kontur kecepatan dan kontur tekanan.
3. Semakin besar vorteks yang dihasilkan, maka tekanan pada vorteks dan sekitarnya akan ikut menurun dan kecepatan akan naik.

4. Penambahan *winglet* dapat memperbesar luas area, besarnya luas area bergantung kepada bentuk dari *winglet* yang dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Bona P. Fitrikananda, *Studi Pengembangan Dan Pemanfaatan Winglet Untuk Meningkatkan Performansi Pesawat*. Artikel: Universitas Nurtanio, 2020.
- [2] De Mantos, B., Macedo, A., dan da Silva Filho, D., *Considerations about Winglet Design*. AIAA 21st Applied Aerodynamics Conference: Orlando, Florida, 2003.
- [3] Mehta. Anshuman, *Different Types Of Winglets And Their Corresponding Vortices*. Artikel: Indian Institute of Technology, 2016.
- [4] The Boeing Company, *"Blended Winglet Improve Performance" The Boeing Company*, 2009. [Online]. Available:https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_03_09 [Diakses: 23 Januari 2022]
- [5] Bruce J. Holmes, Cornelis P van Dam, Phillip W. Brown dan Perry L. Deal, *Flight Evaluation of the Effect of Winglet on Performance and Handling Qualities of a Single-Engine General Aviation Airplane*. NASA Technical Memorandum 81892: NASA, 1980.
- [6] Basawaraj, K. Prateekkumar R Kotegar, dan Lokesh. M. H., *CFD Simulations of Various Shapes of Winglets*. Jurnal Internasional: Visvesvaraya Institute Of Advanced Technology, 2016.
- [7] FAA Government, *"Chapter 5: Aerodynamics of Flight"*, FAA Government, 2016. [Online]. Available:https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/ [Diakses: 23 Januari 2022]
- [8] Joel Guerrero, *Variable Cant Angle Winglets for Improvement of Aircraft Flight Performance*. Artikel: Università degli Studi di Genova, 2020.