

Analisis Aerodinamika pada Sayap JABIRU J430 dengan Penambahan *Vortex Generator* menggunakan Metode CFD

Sandika Galih Ramadanny*, Bismil Rabeta, Agus Supriyanto

Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Universitas Suryadarma
Komplek Bandara Halim Perdanakusuma, Jakarta 13610, Indonesia

*Corresponding Author: gsandika061@gmail.com

Abstract - *Jabiru J430 aircraft is a type of light aircraft produced by the Jabiru aircraft manufacturer with four passenger seats which has a length of 6550 mm and a height of 2200 mm with a high wing type with additional winglets. This study aims to determine the effect of installing a vortex generator on the upper surface of the Jabiru J430 aircraft wing on aerodynamic characteristics, especially at critical angle conditions. As it is known that the vortex generator functions to produce a vortex in the air flow on the upper surface of the wing so that it can delay the occurrence of flow separation and improve the performance of the wing. In this study, a comparison was made between the aerodynamic characteristics of the wing without a vortex generator and the addition of a vortex generator. The vortex generator used is a flat plate vortex with a counter-rotating configuration. From the simulation results, it can be seen that the airflow characteristics on the wings using a vortex generator are more stable when compared to airfoils without a vortex generator and it can be seen that the increase in the maximum lift coefficient from C_L 0.997 (20° angle of attack) to C_L 1.126 (angle of attack 24°) or an increase of 12.9%, and an increase in the drag coefficient occurs as the angle of attack increases.*

Keywords: *vortex generator, Jabiru J430, CFD, Coefficient Lift (C_L), Coefficient Drag (C_D)*

I. PENDAHULUAN

Pesawat Jabiru J430 adalah jenis pesawat ringan produksi pabrikan jabiru *aircraft* dengan empat kursi yang memiliki panjang 6550 mm dan tinggi 2200 mm dengan tipe sayap *high wing* dengan tambahan *winglet*. Pesawat Jabiru J430 digunakan sebagai pesawat *touring*. Saat ini, pesawat Jabiru J430 telah dimiliki di beberapa sekolah di Indonesia. Pesawat tersebut digunakan sebagai sarana penelitian dan pembelajaran.

Dari sisi aerodinamika, salah satu cara meningkatkan performa pesawat adalah dengan memasang *vortex generator* pada permukaan atas sayap. Wahyu Pangestu pada tahun 2020 pernah meneliti Performa Aerodinamik Pada Sayap Pesawat Jabiru J430 Dengan Menggunakan Variasi Bentuk *Winglet*, hasilnya adalah geometri *winglet* pada sayap Jabiru J430 yang paling efisien adalah raked wingtip dan sekarang penelitian difokuskan pada penambahan *vortex generator* pada sayap Jabiru J430^[1].

Vortex generator berbentuk menyerupai sirip dimana biasanya *vortex generator* ini

diletakkan pada permukaan atas dari suatu objek yang bergerak seperti pada sayap pesawat, mobil, atau pada sudu turbin. Komponen kecil ini berbentuk *fin* (sirip) yang ditempatkan di sayap dan permukaan stabilizer untuk memodifikasi aliran udara di sekitar permukaan yang mempengaruhi *boundary layer* (lapisan batas). Penggunaan *vortex generator* bertujuan untuk menunda separasi aliran yang memiliki efek merugikan terhadap *lift* maupun *drag* dari suatu objek yang bergerak. Untuk mengatasi hal tersebut maka *vortex generator* ini ditempatkan pada *external surface* pada suatu *moving body*. Ketika melalui *vortex generator*, maka aliran akan timbul *vortex* akibat adanya transfer momentum pada partikel fluida yang bergerak secara rotasi sehingga menimbulkan *streamwise vortices* pada permukaan benda^[2].

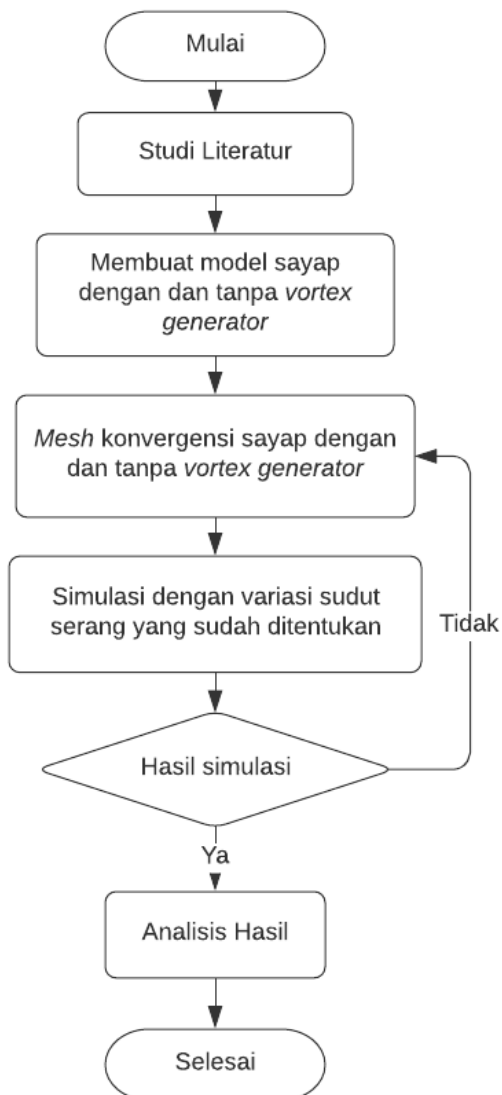
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran udara yang melewati sayap tanpa *vortex generator*, dengan *vortex generator* dan nilai koefisien *lift* dan *drag* yang paling efisien di antara variasi antara sayap dengan *vortex*

generator, tanpa *vortex generator* pada pesawat Jabiru J430. Simulasi dilakukan menggunakan Solidworks dengan tipe *Computational Fluid Dynamic (CFD)*.

II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa langkah yang dilakukan seperti pada *flowchart*.



Gambar 2. 1 Flowchart penelitian

2.2 Objek Pemodelan

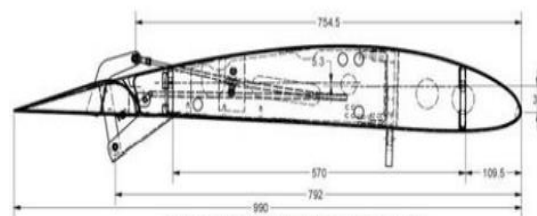
Objek yang digunakan adalah sayap pesawat Jabiru J430 seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 dengan spesifikasi seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Spesifikasi^[3]

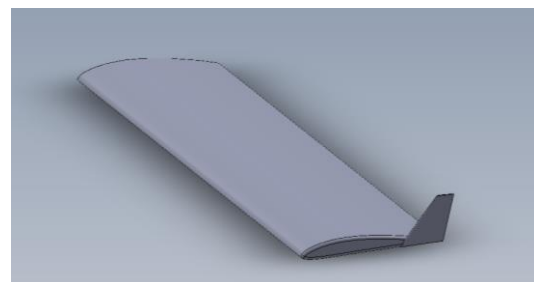
<i>Wing Type</i>	<i>Rectangular Wing</i>
<i>Airfoil</i>	NACA 4412
$\frac{1}{2}$ <i>Span</i>	4.140 m
<i>Chord</i>	990 mm
<i>Wing Area (A)</i>	4.09 m ²
kecepatan	61 m/s



Gambar 2. 2 Jabiru J430^[3]

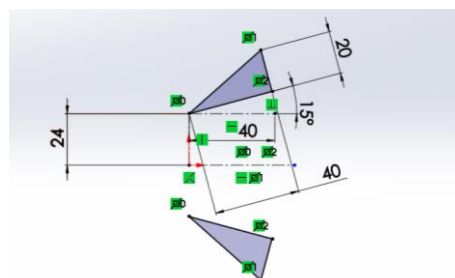


Gambar 2. 3 Geometri airfoil Jabiru J430^[3]



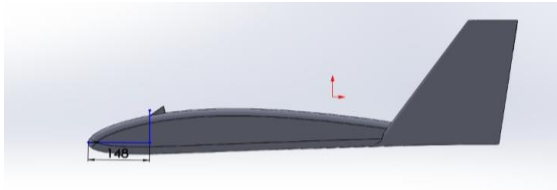
Gambar 2. 4 Base wing jabiru J430 (menyerupai asli)^[4]

Desain *triangular vortex generator* dengan dimensi Panjang 40 mm dan tinggi 20 mm dengan sudut kemiringan 15°

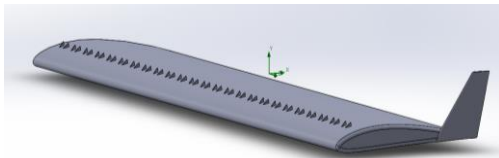


Gambar 2. 5 Geometri *triangular vortex generator*

Penempatan *vortex generator* pada sayap Jabiru J430 15% dari *chord* atau 148 mm



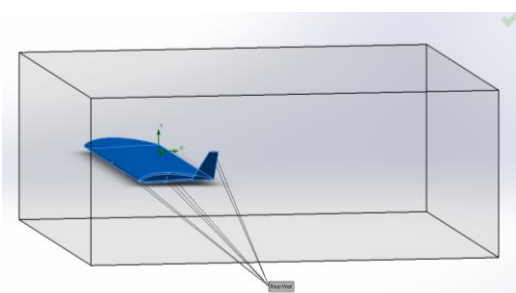
Gambar 2. 6 Penempatan *triangular vortex generator*^[5]



Gambar 2. 7 *Wing* dengan *vortex generator* (tampak samping)

Boundary condition atau kondisi batas adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan sebagai penghitungan yang berdekatan dengannya. Diantaranya kontrol dimensi, luas dan volume yang mengelilingi model^[6]. Untuk mendefinisikan suatu kasus, harus memasukkan informasi pada variable aliran pada domain kasus tersebut. Penentuan kondisi batas melibatkan beberapa hal, yaitu mengidentifikasi lokasi kondisi batas, misalnya : sisi masuk, sisi keluar, dan dinding^[6], seperti pada Gambar 2.8.

Kondisi batas pada penelitian ini adalah *real wall* dengan metode *finite volume methods*. *Input* data yang salah dapat mempengaruhi hasil dari *output* setelah di *running*. Pada penelitian ini kondisi batas yang dimasukan seperti pada Tabel 2.2.



Gambar 2. 8 *Boundary condition (real wall)*^[6]

Berdasarkan Tabel 2.3, ukuran mesh per level 4-5 menghasilkan nilai yang konvergen. Sehingga pada simulasi ini digunakan elemen meshing level 4.

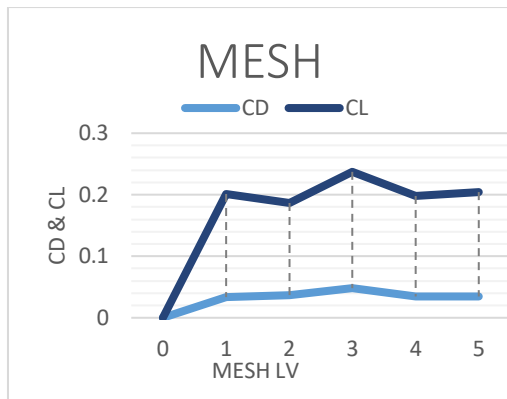
Tabel 2. 2 Kondisi Batas

<i>General Setting</i>	
<i>Analysis type</i>	<i>External</i>
<i>Gravity Y Component</i>	- 9.81 m/s ²
<i>Material</i>	
<i>Project Fluids</i>	<i>Air (Gasses)</i>
<i>Viscous</i>	<i>Inviscid</i>
<i>Initial and Ambient Condition</i>	
<i>Pressure</i>	101325 Pa
<i>Temperature</i>	288 K
<i>Velocity in X direction</i>	61 m/s
<i>Velocity in Y direction</i>	0 m/s
<i>Velocity in Z direction</i>	0 m/s
<i>Reverence value</i>	
<i>Area</i>	8.5 m ²
<i>Density</i>	1.225 Kg/m ³
<i>Automatical initial meshing</i>	On
<i>Result resolution meshing</i>	4 (default)
<i>Local mesh wing</i>	2
<i>Local mesh vortex generator</i>	4
<i>type boundary condition</i>	<i>Real wall</i>
<i>Goals</i>	<i>Global goals</i>

Tabel 2. 3 Analisa *grid* pada sayap tanpa *vortex generator*

MESH (lv)	NUMBER CELLS	C_D	C_L
0	0	0	0
1	33956	0.033	0.200
2	89137	0.036	0.186
3	193017	0.048	0.237
4	472733	0.034	0.198
5	544057	0.034	0.203

Untuk memberikan informasi yang lebih mudah dipahami, hasil dari Tabel 2.3 dibuat kurva seperti Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Hasil konvergensi perbandingan mesh^[7]

III HASIL DAN PEMBAHASAN

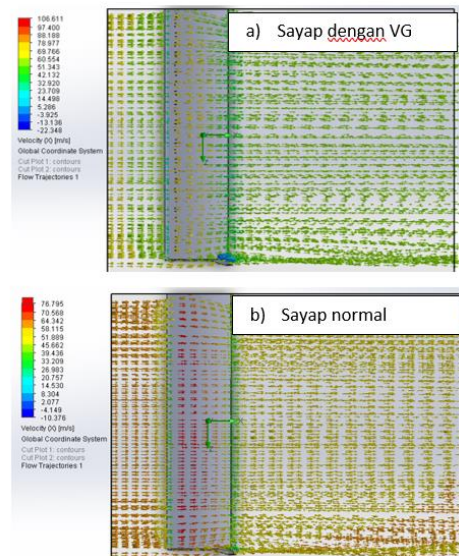
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran udara pada sayap dengan *vortex generator* dan tanpa *vortex generator* serta melihat pengaruh *vortex generator* terhadap nilai *coefficient lift* (C_L) dan *coefficient drag* (C_D) yang terjadi pada sayap pesawat Jabiru J430. Masing-masing simulasi dilakukan dengan variasi sudut serang 0° , 10° , 15° , 20° , 22° , 24° , 26° , dengan kecepatan udara relatif 61 m/s. berikut adalah hasil simulasi aliran udara yang divariasikan terhadap sudut serang (*angle of attack*).

3.1 Profil Aliran Udara Pada Airfoil

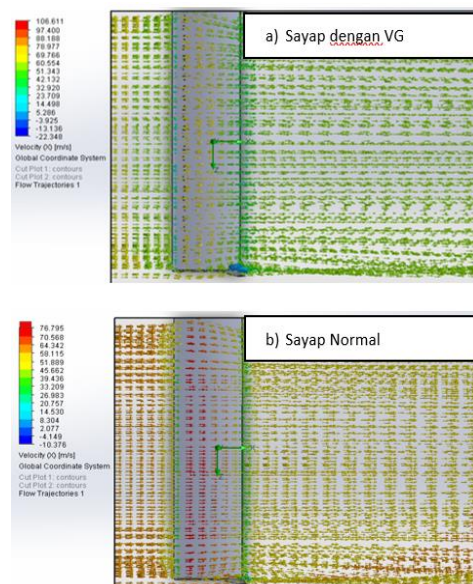
Pada bagian ini menampilkan visualisasi aliran udara (*flow trajectories*) yang terjadi pada sayap dengan *vortex generator* (VG) dan tanpa *vortex generator*.

Gambar 3.1 menunjukkan visualisasi aliran udara untuk distribusi kecepatan pada sudut serang 0° . Terlihat pada gambar perubahan distribusi kecepatan dengan adanya *vortex generator*, yang awalnya warna orange berubah jadi kuning pada bagian *vortex generator*. Pada sayap dengan *vortex generator* aliran setelah melewati *vortex generator* berwarna kuning dengan menuju hijau. Kedua sayap masih belum terjadi separasi aliran.

Pada Gambar 3.2 menunjukkan visualisasi aliran udara untuk distribusi kecepatan pada sudut serang 5° . Pada sayap tanpa *vortex generator* terlihat kontur warna merah yang lebih banyak dibandingkan sayap dengan *vortex generator* yang awalnya warna orange



Gambar 3. 1 Visualisasi Profil Aliran Udara Pada Sudut serang 0°

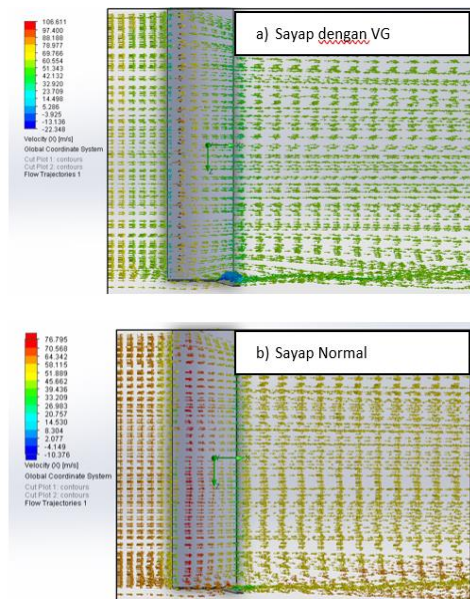


Gambar 3. 2 Visualisasi Profil Aliran Udara Pada Sudut serang 5°

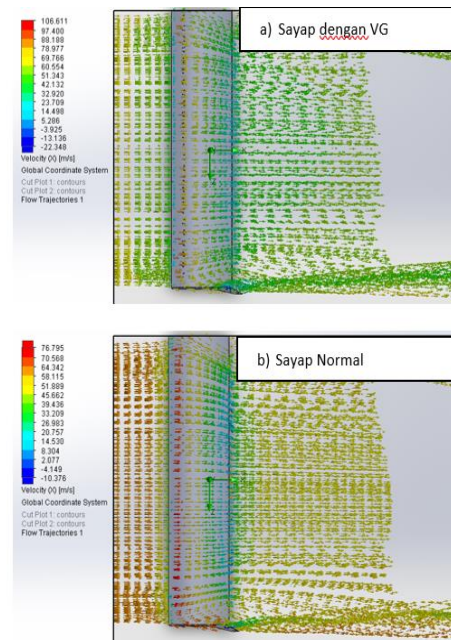
berubah jadi kuning. Pada kedua sayap masih terjadi belum terjadi separasi aliran.

Pada Gambar 3.3 menunjukkan visualisasi aliran udara untuk kecepatan pada sudut serang 10° . Pada sayap tanpa *vortex generator* terjadinya pengurangan kecepatan seperti yang terlihat pada kontur warna merah menjadi kuning. Pada kedua sayap belum terjadi separasi seperti yang terlihat pada Gambar 3.3.

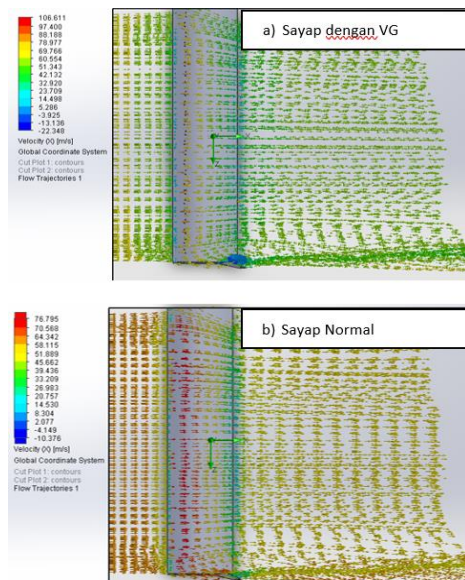
Visualisasi aliran pada sudut serang 15° . Pada sayap tanpa *vortex generator* terjadinya pengurangan kecepatan seperti yang terlihat pada kontur warna merah



Gambar 3. 3 Visualisasi Profil Aliran Udara Pada Sudut serang 10°



Gambar 3. 5 Visualisasi Profil Aliran Udara Pada Sudut serang 20°



Gambar 3. 4 Visualisasi Profil Aliran Udara Pada Sudut serang 15°

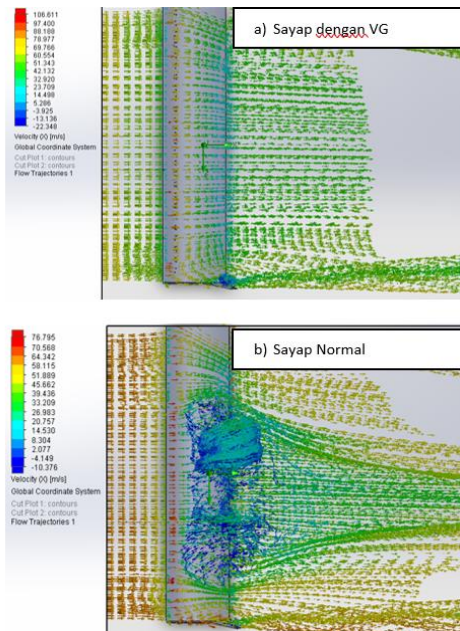
menjadi kuning lalu turun ke biru. Kedua sayap masih belum terjadi separasi seperti yang terlihat pada visualisasi kecepatan aliran Gambar 3.4.

Pada Gambar 3.5 menunjukkan visualisasi aliran udara untuk kecepatan pada sudut serang 20°. Dimana pada sudut serang 20° merupakan sudut kritis dari sayap tanpa *vortex generator* sebelum terjadinya separasi aliran pada sayap tanpa *vortex generator* terlihat bahwa aliran kecepatan yang melewati ¼ *chord* mengalami penurunan kecepatan aliran udara dapat dilihat dengan kontur warna ke kuning dengan nilai kecepatan sekitar

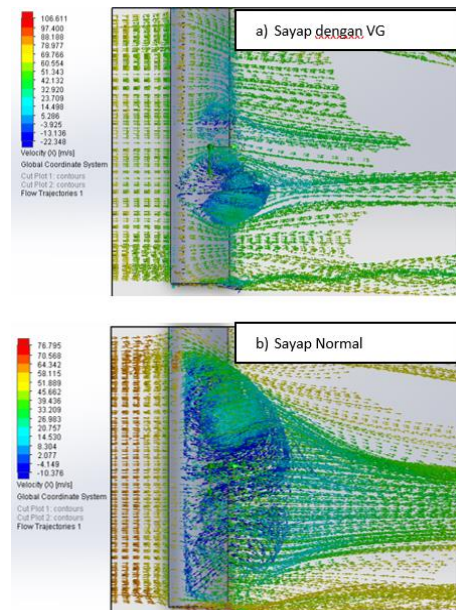
51 m/s, untuk sayap dengan *vortex generator* cenderung lebih cepat dengan kontur ke kuning-kuningan dengan nilai kecepatan sekitar 69 m/s.

Gambar 3.6 memperlihatkan perbandingan persebaran aliran udara yang terjadi antara sayap dengan dan tanpa *vortex generator* pada sudut serang 20°. Pada simulasi ini, terlihat *wake* atau ulakan pada sayap tanpa *vortex generator* lebih besar dari pada dengan *vortex generator*. Ini terjadi karena sudut serang yang telah mencapai sudut kritis sayap dan penurunan kecepatan pada sayap tanpa *vortex generator* karena lepasnya aliran udara dari sayap atau tidak adanya media rambat untuk aliran tersebut.

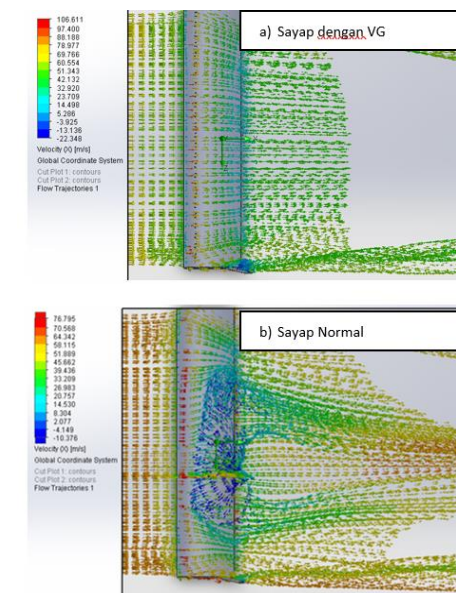
Pada sayap tanpa *vortex generator* terlihat jika visualisasi aliran udara untuk distribusi kecepatan pada sudut serang 24° terjadi ulakan yang menandakan aliran sudah berbalik menjadi aliran negatif yang merugikan bagi gaya angkat atau tidak ada energi kinetik dan mekanik yang terjadi pada sayap. Untuk sayap dengan *vortex generator* sudut serang 24° merupakan sudut kritis terlihat distribusi kecepatan di bagian *trailing edge* separasi mulai terjadi setelah melewati *vortex generator* dan terjadi perlambatan kecepatan pada sayap tanpa *vortex generator*.



Gambar 3. 6 Visualisasi Profil Aliran Udara Pada Sudut serang 22°



Gambar 3. 8 Visualisasi Profil Aliran Udara Pada Sudut serang 26°



Gambar 3. 7 Visualisasi Profil Aliran Udara Pada Sudut serang 24°

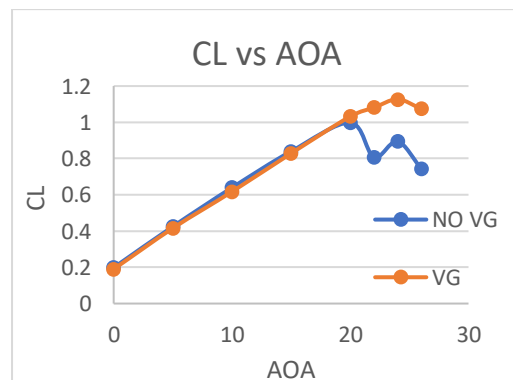
Pada Gambar 3.8 dapat dilihat distribusi kecepatan pada sayap terjadi wake atau ulakan yang membesar seiring bertambahnya sudut serang dimana menunjukkan separasi semakin parah atau aliran yang melawan setelah melewati *vortex generator* membuat aliran terlepas dari *upper surface airfoil*.

3.2 Koefisien gaya angkat dan hambat

Hasil perhitungan menggunakan *software solidwork* dengan metode *flow simulation* pada menu *goal plot* dengan memilih *equation goals* untuk memasukan bentuk perhitungan yang akan ditampilkan.

3.2.1 Koefisien gaya angkat (C_L)

Berikut ini grafik hasil simulasi koefisien gaya angkat (C_L) terhadap sudut serang. Grafik ini akan menampilkan *performance* aerodinamika dari karakteristik sayap normal (tanpa *vortex generator*) dan sayap dengan *vortex generator* yang berupa parameter koefisien gaya angkat dan sudut serang (AOA).

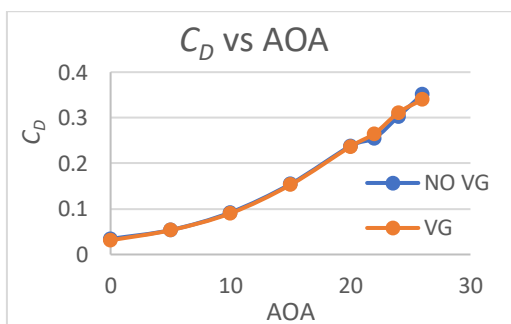


Gambar 3. 9 Grafik perbandingan C_L terhadap AOA

Gambar 3.9 menampilkan nilai koefisien gaya angkat maksimum (C_{Lmax}) pada sayap tanpa *vortex generator* adalah 0.997775 pada sudut serang 20° , sedangkan nilai koefisien gaya angkat maksimum (C_{Lmax}) sayap dengan *vortex generator* adalah 1.12662 pada sudut serang 24° , hal tersebut menunjukkan bahwa sayap pesawat dengan penambahan *vortex generator* separasi aliran menjadi tertunda dan mengalami peningkatan koefisien gaya angkat maksimum (C_{Lmax}) dan AOA, terjadi peningkatan sudut serang maksimum pada sayap dengan *vortex generator* ada pada sudut 24° hal ini menunjukkan peningkatan sebesar 4° pada sayap dengan penambahan *vortex generator* terhadap sayap normal tanpa *vortex generator*.

3.2.2 koefisien Gaya Hambat (C_D)

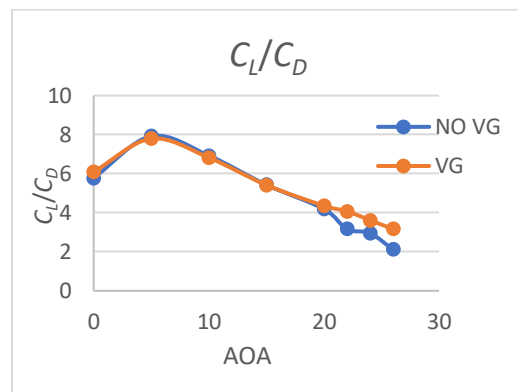
Berikut ini grafik hasil simulasi C_D terhadap sudut serang. Grafik ini akan menampilkan *performance* aerodinamika dari karakteristik sayap normal (tanpa *vortex generator*) dan sayap dengan *vortex generator* yang berupa parameter koefisien gaya hambat (C_D) dan sudut serang (AOA).



Gambar 3. 10 C_D terhadap AOA

Berdasarkan pada Gambar 3.10 pada sudut serang 26° nilai koefisien gaya hambat (C_{Dmin}) normal (tanpa *vortex generator*) lebih rendah dibandingkan nilai C_D sayap dengan *vortex generator*. Hal ini karena adanya *parasite drag* yang terjadi karena bertambahnya kecepatan dan gesekan antara permukaan semakin besar yang mengakibatkan penambahan *drag*^[8]. Untuk nilai C_{Dmax} sayap normal (tanpa

vortex generator) menjadi lebih tinggi dibandingkan nilai C_D sayap dengan *vortex generator*. Hal ini disebabkan sudah terjadinya separasi aliran udara pada sayap normal (tanpa *vortex generator*) sehingga nilai C_D bertambah, sedangkan pada sayap dengan *vortex generator* belum terjadi separasi aliran udara.



Gambar 3. 11 Kurva C_L/C_D terhadap sudut serang pada kecepatan 61 m/s

Berdasarkan pada Gambar pada sudut serang 5-15 nilai rasio C_L/C_D sayap normal (tanpa *vortex generator*) lebih tinggi dibandingkan nilai koefisien rasio C_L/C_D dengan *vortex generator* hal ini dikarenakan bentuk geometri *vortex generator* mengakibatkan penambahan gaya hambat setelah melewati sudut serang 20, nilai koefisien rasio C_L/C_D sayap normal (tanpa *vortex generator*) menjadi lebih rendah dibandingkan nilai koefisien rasio C_L/C_D sayap dengan *vortex generator*.

IV PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terlihat perbedaan kontur kecepatan antara sayap dengan *vortex generator* dan tanpa *vortex generator* dimana pada kontur kecepatan sayap dengan *vortex* memiliki kontur kecepatan yang lebih cepat pada $\frac{1}{4}$ chord 78 m/s dibandingkan tanpa *vortex generator* pada $\frac{1}{4}$ chord 58 m/s, dimana $\frac{1}{4}$ chord merupakan penghasil *lift* terbesar. Terlihat kontur separasi pada sayap tanpa *vortex generator* terjadi lebih

dahulu setelah sudut serang 20° , untuk sayap dengan penambahan *vortex generator* separasi aliran baru terjadi setelah sudut serang 24° .

2. Pengaruh sayap Jabiru J430 dengan penambahan *vortex generator* membuktikan bahwa separasi aliran sayap tanpa *vortex generator* lebih cepat terjadi separasi sudut serang kritis 20° dengan nilai C_L 0.997 dan pada sayap dengan penambahan *vortex generator* separasi aliran tertunda, membuat sudut serang kritis menjadi lebih tinggi dan nilai koefisien gaya angkat menjadi lebih tinggi dibanding sayap normal tanpa *vortex generator* pada sudut serang 24° dengan nilai C_L 1.126 mengalami kenaikan sudut serang 4° dari sayap normal tanpa *vortex generator*.
3. Pengaruh sayap Jabiru J430 memiliki koefisien gaya hambat yang naik seiring bertambahnya AOA. Pada sayap tanpa vortex generator nilai $C_{D_{max}}$ 0.351 dan sayap dengan *vortex generator* $C_{D_{max}}$ 0.339.

4.2 Saran

1. Melakukan penelitian dengan menggunakan variasi bentuk dan jarak *vortex generator* untuk menghasilkan optimalisasi efisiensi aerodinamika sayap
2. Diharapkan dalam penelitian selanjutnya bisa menggunakan variasi untuk model *airfoil* NACA yang digunakan, dan memungkinkan juga membandingkan antara *airfoil* NACA yang simetris dengan *airfoil* yang tidak simetris.
3. Dalam melakukan pengaturan domain haruslah sangat hati-hati, karena pengaturan tersebut menentukan hasil dari kualitas simulasi

DAFTAR PUSTAKA

1. Pangestu Wahyu., 2020, Analisis Performa Aerodinamik Pada Sayap Pesawat Jabiru J430 Dengan Menggunakan Variasi Bentuk Winglet, Skripsi, Program Studi Teknik Penerbangan, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta.
2. A. Romadhon, D. Herdiana.,2017, Analisis *CFD* Karakteristik Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Lsu-05 Dengan Penambahan Vortex Generator, Jurnal Teknologi Dirgantara, No. 1, Vol .15, 45.
3. Wings, M., 2019, *how to build a wing in solidworks starting from coordinates*, diakses tanggal 13 februari 2021.
4. Haryadi, Setyo., 2015, Studi Numerik Penggunaan *Vortex Generator* Terhadap *Boundary Layer Airfoil* NACA 43018, Skripsi, Program Studi Teknik Pesawat Udara, Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan Surabaya, Surabaya.
5. Azmi Ulul, Sasongko Herman, 2015, Studi Eksperimen dan Numerik Pengaruh Penambahan Vortex Generator pada Airfoil NASA LS-0417, Jurnal Teknik ITS, Vol. 4, No. 1
6. P. Martinez-Filgueira, U. Fernandez-Gamiz, E. Zulueta, I. Errasti, B. Fernandez-Gauna., 2017, Parametric study of low-profile vortex generators, International Journal Of Hydrogen Energy, Vol 1-13
7. Dewangga Muhamad, Yamin Mohammad., 2020, Rancang Ulang Desain Impeller Kipas Sentrifugal Sistem Pendingin Mesin Sepeda Motor Skutik Dengan Metode Reverse Engineering, Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta.
8. *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*. FAA. p. Chapter 5, Aerodynamics of flight.

LEMBAR KESAHIAN VALIDITAS
Sayap normal tanpa VG

0°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	99280.41	99281.64	99272.48	99290.26	100	Yes	1.12	296.08
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103602.86	103602.86	103602.81	103602.92	100	Yes	0.02	0.61
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	107148.08	107180.18	107108.09	107251.88	100	Yes	15.67	430.25
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-16,961	-15,660	-17,129	-13,475	100	Yes	0.490	0.503
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	61,230	61,229	61,228	61,231	100	Yes	3.27E-01	0.007
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	75,231	75,186	75,079	75,275	100	Yes	0.008	0.210
GG Force (X) 1	[N]	319,197	319,154	316,333	321,546	100	Yes	0.340	18,340
GG Force (Y) 1	[N]	1,846,207	1,837,899	1,822,090	1,850,146	100	Yes	8,600	35,249

5°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	97630.71	97636.54	97623.83	97646.36	100	Yes	22.53	200.65
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103598.27	103598.23	103598.18	103598.29	100	Yes	0.12	0.60
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	107863.82	107870.05	107839.78	107911.26	100	Yes	71.48	435.36
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-8,042	-8,790	-9,378	-8,042	100	Yes	0.480	0.490
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	61,113	61,113	61,112	61,114	100	Yes	0.002	0.005
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	78,966	78,978	78,966	78,991	100	Yes	0.024	0.228
GG Force (X) 1	[N]	500,278	501,249	497,630	504,325	100	Yes	6,695	24,047
GG Force (Y) 1	[N]	3,961,315	3,965,439	3,949,847	3,978,629	100	Yes	28,781	77,159

10°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	96173.53	96177.30	96172.45	96180.96	100	Yes	4.11	455.43
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103592.06	103592.07	103592.05	103592.08	100	Yes	0.01	0.82
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	107710.17	107707.91	107699.59	107717.37	100	Yes	14.03	360.09
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-12,520	-12,983	-14,357	-11,695	100	Yes	0.399	0.422
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	60,890	60,891	60,890	60,891	100	Yes	2.28E-01	0.007
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	85,367	85,368	85,360	85,379	100	Yes	0.014	0.367
GG Force (X) 1	[N]	860,358	859,830	859,182	860,627	100	Yes	0.185	40,675
GG Force (Y) 1	[N]	5,958,751	5,956,466	5,954,303	5,958,792	100	Yes	1,878	125,889

15°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	93054.49	93061.63	93053.88	93067.73	100	Yes	13.85	337.75
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103584.99	103584.98	103584.95	103585.00	100	Yes	0.05	1.13
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	115742.35	115732.50	115696.47	115758.01	100	Yes	61.54	535.00
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-16,665	-16,582	-16,944	-16,407	100	Yes	0.537	0.597
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	60,578	60,578	60,578	60,579	100	Yes	7.87E-01	0.016
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	89,514	89,493	89,474	89,514	100	Yes	0.040	0.336
GG Force (X) 1	[N]	1,441,728	1,440,282	1,439,131	1,441,728	100	Yes	2,597	53,958
GG Force (Y) 1	[N]	7,826,638	7,822,099	7,818,434	7,826,638	100	Yes	8,204	131,312

20°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	93524.37	93524.72	93523.30	93526.28	100	Yes	2.98	232.07
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103573.46	103573.46	103573.44	103573.49	100	Yes	0.04	1.67

GG Max Total Pressure 1	[Pa]	111995.15	111955.94	111918.47	111998.68	100	Yes	80.21	649.70
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-30,833	-26,171	-31,266	-21,004	100	Yes	0.880	0.980
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	60,151	60,150	60,150	60,151	100	Yes	2.05E-01	0.029
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	99,000	98,998	98,989	99,006	100	Yes	0.016	0.504
GG Force (X) 1	[N]	2,219,366	2,218,724	2,217,311	2,220,263	100	Yes	0.388	80,564
GG Force (Y) 1	[N]	9,300,828	9,299,120	9,294,483	9,302,060	100	Yes	2,301	163,819

22°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	93431.62	93980.59	93431.62	94569.66	100	Yes	115.26	347.85
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103530.32	103538.61	103530.32	103543.34	23	Yes	8.40	1.94
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	122217.45	122156.83	121985.50	122271.77	100	Yes	82.61	550.04
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-22,811	-22,604	-27,239	-13,815	32	Yes	2,762	0.882
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	59,262	59,429	59,262	59,522	28	Yes	0.154	0.042
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	93,252	95,370	93,252	96,045	15	Yes	2,355	0.361
GG Force (X) 1	[N]	2,379,722	2,401,667	2,358,116	2,449,133	100	Yes	17,337	87,745
GG Force (Y) 1	[N]	7,525,348	7,878,711	7,498,854	8,215,835	43	Yes	381,788	162,938

24°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	93522.58	93814.53	93515.97	94138.08	86	Yes	475.13	406.99
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103516.65	103516.41	103511.81	103519.71	35	Yes	6.60	2.29
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	112471.09	112405.34	112103.39	112946.26	100	Yes	91.46	178.59
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-19,692	-27,526	-33,411	-19,211	65	Yes	1,518	0.979
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	58,901	58,856	58,801	58,912	48	Yes	0.110	0.053
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	95,617	94,302	93,365	95,617	31	Yes	1,777	0.555
GG Force (X) 1	[N]	2,825,185	2,701,871	2,630,436	2,825,185	100	Yes	31,440	87,433

GG Force (Y) 1	[N]	8,343,368	7,673,041	7,346,108	8,343,368	46	Yes	342,244	158,686
----------------	-----	-----------	-----------	-----------	-----------	----	-----	---------	---------

26°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	94842.88	94858.98	94830.13	94886.27	100	Yes	54.34	260.48
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103458.87	103458.99	103458.43	103459.38	100	Yes	0.22	3.58
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	107998.52	108003.10	107992.47	108017.06	100	Yes	9.44	98.96
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-16,969	-16,960	-17,381	-16,607	100	Yes	0.682	0.998
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	57,551	57,552	57,543	57,559	100	Yes	0.004	0.097
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	82,941	82,968	82,357	83,459	100	Yes	0.591	0.596
GG Force (X) 1	[N]	3,276,918	3,276,440	3,271,566	3,280,021	100	Yes	5,784	104,677
GG Force (Y) 1	[N]	6,943,668	6,941,349	6,919,878	6,958,832	100	Yes	9,752	171,080

Sayap dengan VG

0°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	96011.98	96011.63	96005.99	96015.67	100	Yes	2.51	175.86
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103602.60	103602.63	103602.59	103602.69	100	Yes	6.48e-003	0.62
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	106119.44	106111.33	106071.54	106134.94	100	Yes	5.68	440.02
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-19,269	-18,504	-19,269	-18,062	100	Yes	0.546	0.583
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	61,222	61,222	61,221	61,223	100	Yes	1.87E-01	0.007
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	81,902	81,871	81,806	81,952	100	Yes	0.026	0.342
GG Force (X) 1	[N]	290,858	291,516	289,696	293,242	100	Yes	0.881	19,981
GG Force (Y) 1	[N]	1,771,745	1,771,663	1,759,211	1,785,097	100	Yes	12,953	40,778

5°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	94073.61	94069.40	94062.68	94075.67	100	Yes	13.00	167.99
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103596.25	103596.26	103596.24	103596.29	100	Yes	0.02	0.59
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	106022.72	106021.08	106017.64	106025.12	100	Yes	7.48	460.76
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-17,944	-17,800	-18,128	-17,497	100	Yes	0.578	0.582
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	61,082	61,082	61,082	61,083	100	Yes	4.83E-01	0.005
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	90,548	90,182	89,786	90,584	100	Yes	0.022	0.411
GG Force (X) 1	[N]	497,135	497,506	495,944	498,850	100	Yes	1,183	24,770
GG Force (Y) 1	[N]	3,875,058	3,875,765	3,867,658	3,881,549	100	Yes	2,867	74,608

10°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	93454.24	93456.36	93446.12	93468.31	100	Yes	8.19	152.97
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103589.15	103589.15	103589.10	103589.19	100	Yes	0.02	0.83
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	106211.49	106206.03	106193.93	106214.67	100	Yes	20.74	321.30
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-21,076	-21,050	-21,482	-20,705	100	Yes	0.777	0.820
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	60,853	60,852	60,852	60,853	100	Yes	1.83E-01	0.008
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	95,743	95,718	95,685	95,753	100	Yes	0.011	0.562
GG Force (X) 1	[N]	842,960	842,238	839,828	844,639	100	Yes	0.484	42,342
GG Force (Y) 1	[N]	5,752,360	5,750,587	5,742,929	5,757,461	100	Yes	1,697	133,952

15°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	91638.83	91640.29	91631.82	91647.59	100	Yes	15.77	200.15

GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103580.16	103580.15	103580.13	103580.20	100	Yes	0.06	1.33
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	107261.90	107261.90	107258.71	107263.76	100	Yes	5.05	496.47
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-20,768	-21,220	-21,950	-20,438	100	Yes	0.920	0.930
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	60,512	60,513	60,512	60,513	100	Yes	5.72E-01	0.018
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	93,316	93,848	93,093	94,653	100	Yes	0.137	0.389
GG Force (X) 1	[N]	1,425,476	1,426,570	1,424,737	1,428,250	100	Yes	0.565	58,698
GG Force (Y) 1	[N]	7,722,818	7,725,316	7,720,907	7,729,922	100	Yes	2,046	154,854

20°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	91986.60	91970.38	91954.83	91986.60	100	Yes	31.77	184.40
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103573.37	103573.38	103573.35	103573.42	100	Yes	7.52e-003	2.01
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	116902.85	116903.19	116894.54	116909.83	100	Yes	15.29	509.71
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-22,343	-22,031	-23,448	-21,062	100	Yes	1,954	1,963
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	60,129	60,129	60,129	60,130	100	Yes	2.88E-01	0.033
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	101,342	101,342	101,338	101,344	100	Yes	0.006	0.537
GG Force (X) 1	[N]	2,207,980	2,208,842	2,206,941	2,210,749	100	Yes	0.560	75,293
GG Force (Y) 1	[N]	9,622,297	9,623,608	9,619,742	9,627,531	100	Yes	2,827	153,622

22°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	90903.95	90905.44	90903.22	90907.14	100	Yes	2.06	269.79
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103569.82	103569.82	103569.76	103569.88	100	Yes	0.02	2.17
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	111323.60	111279.06	111230.39	111345.46	100	Yes	115.07	521.58
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-20,198	-20,051	-21,048	-19,042	100	Yes	1,022	1,087
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	59,968	59,968	59,967	59,969	100	Yes	3.27E-01	0.037

GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	104,989	104,987	104,979	104,997	100	Yes	0.005	0.567
GG Force (X) 1	[N]	2,472,464	2,471,362	2,469,776	2,474,699	100	Yes	0.497	87,560
GG Force (Y) 1	[N]	10,076,857	10,074,883	10,071,726	10,081,186	100	Yes	1,530	164,942

24°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	92447.73	92448.54	92446.65	92450.33	100	Yes	0.79	252.15
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103545.89	103545.89	103545.77	103545.97	100	Yes	0.04	2.92
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	110597.37	110611.71	110589.31	110641.20	100	Yes	13.13	175.76
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-21,492	-20,703	-21,541	-19,906	100	Yes	0.856	0.861
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	59,670	59,670	59,669	59,671	100	Yes	4.91E-01	0.045
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	104,045	104,045	104,033	104,056	100	Yes	0.022	0.650
GG Force (X) 1	[N]	2,901,843	2,901,383	2,896,059	2,905,553	100	Yes	0.449	80,136
GG Force (Y) 1	[N]	10,501,864	10,498,898	10,488,389	10,505,871	100	Yes	1,045	142,630

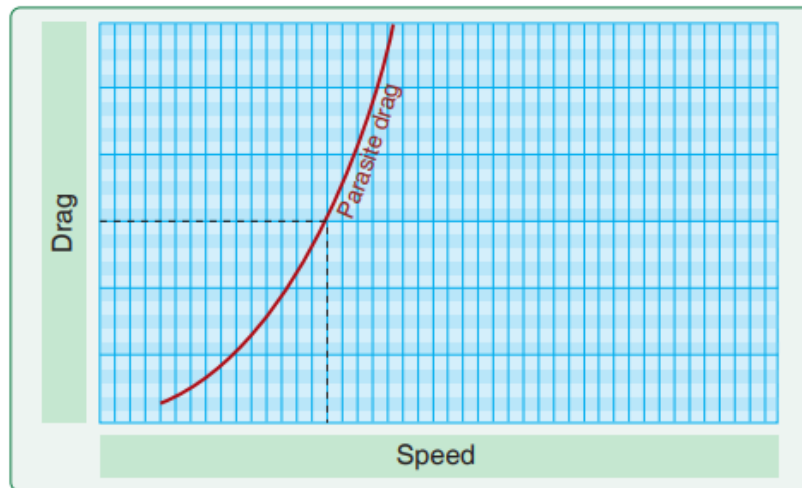
26°									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	[Pa]	91633.97	91621.44	91516.25	91716.03	100	Yes	108.90	295.86
GG Av Total Pressure 1	[Pa]	103535.60	103526.80	103517.22	103535.60	43	Yes	6.54	2.79
GG Max Total Pressure 1	[Pa]	109374.04	109423.55	109361.90	109463.66	100	Yes	93.17	464.07
GG Min Velocity (X) 1	[m/s]	-25,811	-25,597	-27,822	-23,702	41	Yes	2,563	1,044
GG Av Velocity (X) 1	[m/s]	59,144	59,003	58,872	59,148	48	Yes	0.104	0.050
GG Max Velocity (X) 1	[m/s]	115,546	114,727	113,792	115,667	49	Yes	1,743	0.853
GG Force (X) 1	[N]	3,167,189	3,150,815	3,060,913	3,213,409	100	Yes	28,992	108,636
GG Force (Y) 1	[N]	10,021,763	9,838,827	9,385,972	10,132,149	100	Yes	152,468	174,485

Koefisien gaya angkat dan gaya hambat

NO VG			
AOA	CL	CD	CL/CD
0	0.198058	0.034243	5.783897439
5	0.424962	0.053669	7.918202314
10	0.639243	0.092298	6.925859715
15	0.839627	0.154666	5.428646244
20	0.997775	0.238089	4.190764798
22	0.807305	0.255292	3.162280839
24	0.89506	0.30308	2.953213673
26	0.744903	0.351541	2.118964786

VG			
AOA	CL	CD	CL/CD
0	0.190069	0.031203	6.09136942
5	0.415709	0.053332	7.794738618
10	0.617102	0.090431	6.824009466
15	0.828489	0.152922	5.417722761
20	1.032261	0.236868	4.357958863
22	1.081026	0.265241	4.075636874
24	1.12662	0.311304	3.61903477
26	1.075115	0.33977	3.164243459

Parasite Drag



Parasite *drag* adalah gaya hambat yang terjadi karena peningkatan kecepatan pada objek yg bergerak di suatu aliran dimana semakin cepat aliran maka *drag* akan semakin tinggi.

Perbandingan antara Wind Tunnel dengan Software Solidwork

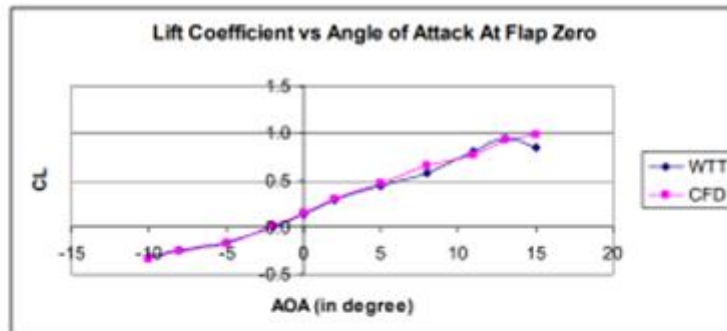


Figure 11: Comparison between Wind Tunnel Testing and CFD Results for Lift Coefficient

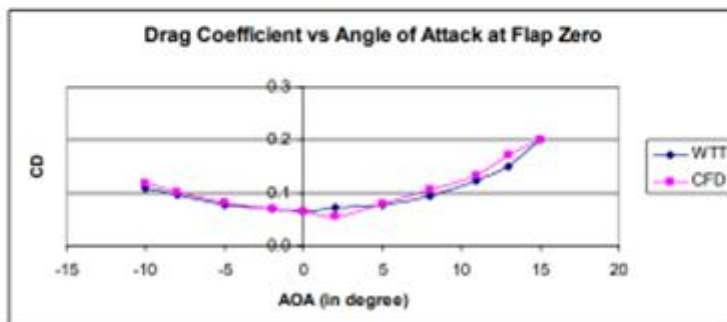
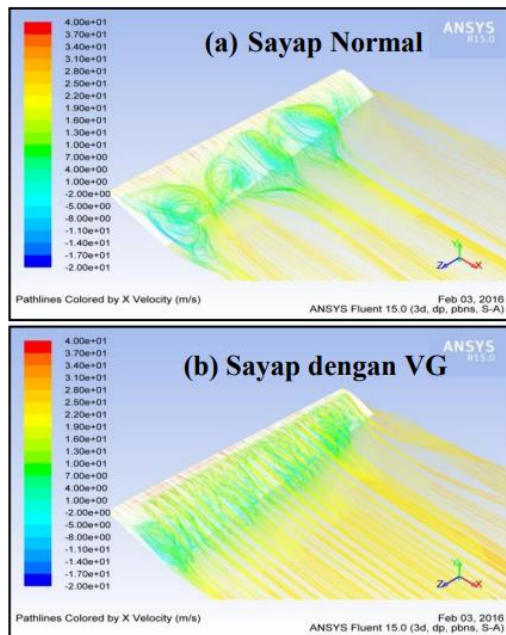


Figure 12: Comparison between Wind Tunnel Testing and CFD Results for Drag Coefficient
From both graphs plotted, it can be seen how similar the results obtained from both methods. Both trend lines almost overlap each other. Means both methods are agreeable with each other.

Perbandingan simulasi antara wind tunnel dengan software solidwork dapat dilihat pada gambar diatas bahwa simulasi pada wind tunnel dan software solidwork hampir sama walau ada perbedaan sedikit.

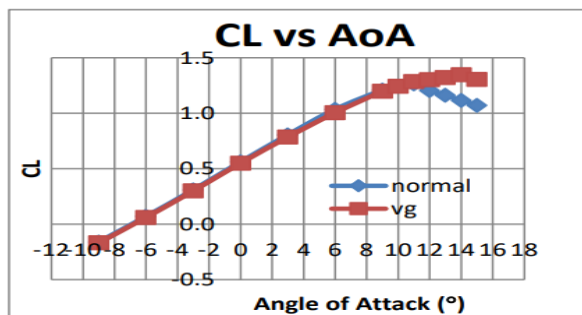
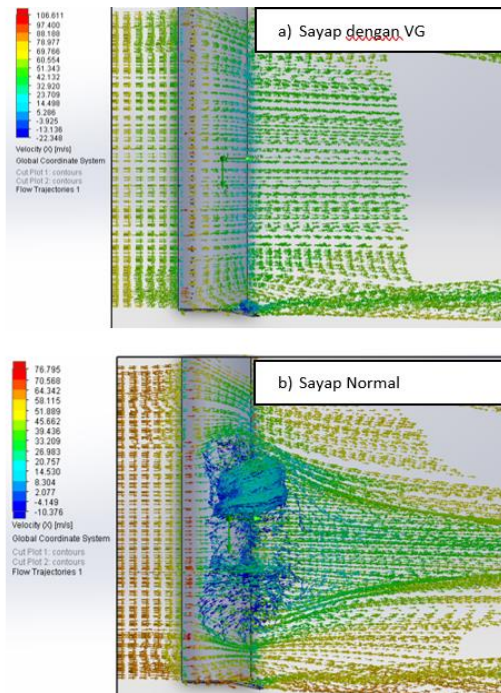
Perbandingan karakteristik sayap normal dengan penambahan *vortex generator*

Perbandingan *velocity pathline* pada sudut serang 14° (Romadhon, 2016)

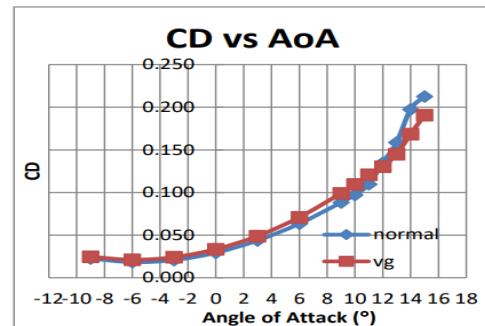


Gambar 5-7: Perbandingan *velocity pathline* pada sudut serang 14° (Romadhon, 2016)

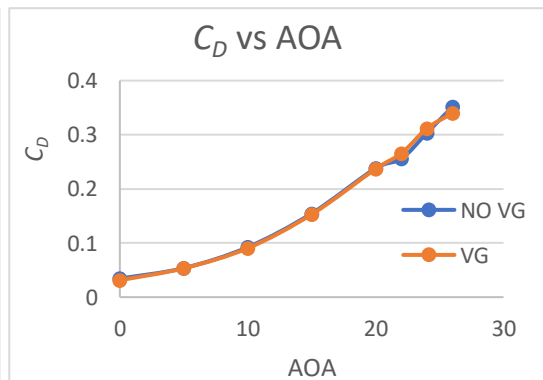
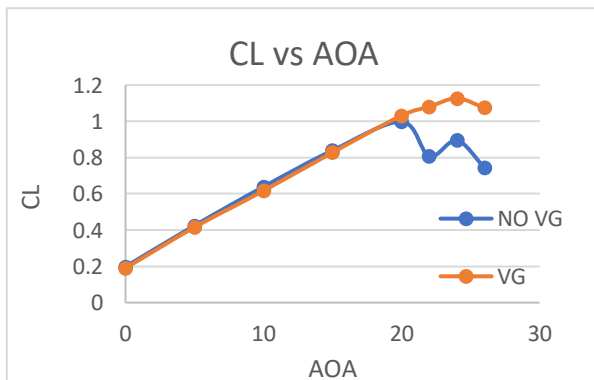
Perbandingan *velocity pathline* pada sudut serang 22°



Gambar 5-1: Grafik hasil simulasi koefisien lift terhadap sudut serang perbandingan sayap normal dan sayap dengan *vortex generator*. (Romadhon, 2016)



Gambar 5-2: Grafik hasil simulasi koefisien drag terhadap sudut serang perbandingan sayap normal dan sayap dengan *vortex generator*. (Romadhon, 2016)



C_D dan C_L vs AOA pada sayap Jabiru J430