

# **ANALISIS CFD KARAKTERISTIK AERODINAMIKA PADA SAYAP PESAWAT LSU-05 DENGAN PENAMBAHAN VORTEX GENERATOR (ANALYSIS OF CFD AERODYNAMIC CHARACTERISTICS AT THE WING OF AIRCRAFT LSU-05 WITH THE ADDITION OF VORTEX GENERATOR)**

**Awalu Romadhon\*) dan Dana Herdiana\*\*)**

\*) Fakultas Teknik Universitas Nurtanio Bandung

Jl. Pajajaran No.219, Arjuna, Cicendo, Bandung, Jawa Barat 40174

\*\*) Pusat Teknologi Penerbangan

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Raya LAPAN, Sukamulya, Rumpin, Bogor 16350 Indonesia

e-mail:awalu\_romadhon@yahoo.com, dana\_lapan@yahoo.com,

Diterima: 14 Agustus 2017; Direvisi: 5 September 2017; Disetujui: 18 September 2017

## **ABSTRACT**

LSU-05 aircraft is one of the unmanned aerial vehicles (UAV), which is being developed by the Aeronautics Technology Center of LAPAN, whose mission is for research, observation, patrol, border surveillance, and investigation of natural disasters. This study aims to determine the effect of vortex generators on the aerodynamic characteristics of the LSU-05 Unmanned Aircraft wing. The method used is a numerical analysis with CFD simulation for predicting aerodynamic characteristics and flow phenomena that occur. The models used are the aircraft wing of the LSU-05 without vortex generator and with vortex generator designed with CATIA software. The simulation is using ANSYS Fluent software to determine changes in the aerodynamic characteristics of the wing after the addition of vortex generators such as the lift coefficient and drag coefficient. The results of the addition of vortex generator on LSU-05 wings are the increasing value of the maximum lift coefficient of the wing which becomes 1,34840 from 1,26450, it increases 0,0839 (6.63%) point, the increasing value of the drag coefficient on the angle of attack from  $-9^{\circ}$  to  $11^{\circ}$ , the decreasing value of the drag coefficient on the angle of attack  $12^{\circ}$  up to  $15^{\circ}$  and the increasing stall angle of wing from  $11^{\circ}$  to  $14^{\circ}$  or increased by  $3^{\circ}$  (27,7%).

Keywords: *vortex generator, LSU-05, aerodynamic characteristics, CFD*

## ABSTRAK

Pesawat LSU-05 adalah salah satu pesawat tanpa awak (UAV) yang sedang dikembangkan oleh Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN, yang mempunyai misi untuk kegiatan penelitian, observasi, patroli, pengawasan perbatasan wilayah, dan investigasi bencana alam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *vortex generator* terhadap karakteristik aerodinamika dari sayap Pesawat Tanpa Awak LSU-05. Metode yang digunakan adalah analisis numerik dengan simulasi CFD untuk memprediksi karakteristik aerodinamika dan fenomena aliran yang terjadi. Model yang digunakan adalah sayap pesawat LSU-05 tanpa *vortex generator* dan dengan *vortex generator* yang didesain dengan *software* CATIA. Simulasi menggunakan *software* ANSYS Fluent untuk mengetahui perubahan karakteristik aerodinamika sayap setelah penambahan *vortex generator* seperti koefisien *lift* dan koefisien *drag*. Hasil yang diperoleh dari penelitian penambahan *vortex generator* pada sayap Pesawat LSU-05 adalah peningkatan nilai koefisien *lift* maksimum sayap dari 1,26450 menjadi 1,34840 atau naik sebesar 0,0839 (6,63%), peningkatan nilai koefisien *drag* pada sudut serang  $-9^\circ$  s/d  $11^\circ$ , penurunan nilai koefisien *drag* pada sudut serang  $12^\circ$  s.d  $15^\circ$  dan peningkatan sudut *stall* sayap dari  $11^\circ$  menjadi  $14^\circ$  atau naik sebesar  $3^\circ$  (27,7 %).

Kata Kunci: *vortex generator*, LSU-05, karakteristik aerodinamika, CFD

## 1 PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin maju di era globalisasi ini menuntut adanya efisiensi sumber daya yang tinggi dengan cara penerapan otomatisasi di segala bidang teknologi, salah satunya adalah teknologi penerbangan yang ditandai dengan semakin meningkatnya kebutuhan pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) atau yang sering disebut sebagai *drone*. Ada beberapa pihak di dalam negeri yang melakukan pengembangan guna memenuhi kebutuhan pesawat tanpa awak tersebut. Salah satunya adalah Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) sebagai lembaga yang memiliki tugas penelitian dan pengembangan teknologi kedirgantaraan saat ini juga melakukan pengembangan pesawat tanpa awak (UAV).

*Lapan Surveillance UAV 05* (LSU-05) merupakan pesawat tanpa awak generasi kelima yang dikembangkan Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN yang berkemampuan membawa *payload* maksimal 30 kg. LSU-05 mempunyai misi untuk melakukan kegiatan penelitian, observasi, patroli, pengawasan perbatasan

wilayah dan juga investigasi bencana alam (banjir, gunung meletus, kebakaran). (Atik Bintoro, Gunawan S. P., 2013).

*Vortex Generator* (VG) adalah komponen kecil berbentuk sirip (*fin*) yang ditempatkan di atas permukaan sayap dan *stabilizer* yang bertujuan untuk memodifikasi aliran di sekitar permukaan yang menciptakan *boundary layer* untuk menunda terjadinya pemisahan aliran (*flow separation*) dan *stall*. Perlunya di pasang *vortex generator* ini karena pesawat LSU-05 yang didesain masih belum optimal dalam menghasilkan gaya angkat dan keefektifan dari *control surface aileron* dalam melakukan manuver *roll*. Penambahan *vortex generator* pada sayap pesawat LSU-05 bertujuan untuk mengoptimalkan performa pesawat di antaranya meningkatkan nilai koefisien *lift* dan sudut *stall*. (Romadhon, 2016)

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik aerodinamika dengan penambahan *vortex generator* pada sayap pesawat LSU-05. Analisis dilakukan untuk mengetahui *vortex* yang terjadi pada permukaan sayap sebelum dan sesudah penambahan *vortex generator*, sehingga didapat perbandingan koefisien *lift* dan koefisien

drag pada saat pengoperasian pesawat tersebut.

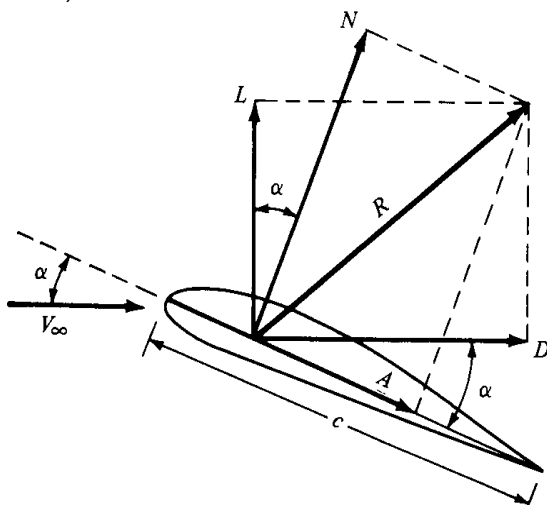
Untuk menganalisis karakteristik aerodinamika penambahan *vortex generator* pada sayap pesawat LSU-05 digunakan simulasi perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics (CFD)* yaitu ANSYS Fluent dan untuk memvalidasi hasil simulasi digunakan data dari pengujian sayap di terowongan angin. Makalah ini merupakan bagian skripsi dari penulis pertama.

**2 LANDASAN TEORI**

**2.1 Aerodinamika Wing**

Gaya aerodinamika timbul karena adanya gesekan aliran udara dengan permukaan sayap yang menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan antara bagian bawah dan atas sayap.

Gaya angkat/*Lift* (L) adalah komponen dari resultan (R) yang tegak lurus terhadap kecepatan *freestream* ( $V_\infty$ ). Gaya hambat/*Drag* (D) adalah komponen dari resultan (R) yang sejajar dengan kecepatan *freestream* ( $V_\infty$ ). Sudut serang (*angle of attack*) didefinisikan sebagai sudut antara kecepatan *freestream* ( $V_\infty$ ) dan *chord* (c). Hubungan geometrik antara gaya-gaya tersebut dapat dilihat pada Gambar 2-1. (John D. Anderson, 2010)



Gambar 2-1: Gaya-gaya aerodinamika (John D. Anderson, 2010)

Dengan adanya koefisien gaya tak berdimensi, dimensi sayap bisa diperkecil untuk pengujian terowongan angin, karena nilai koefisien gaya tak berdimensinya sama walaupun dengan skala ukuran sayap yang berbeda. Koefisien gaya tak berdimensi didefinisikan sebagai berikut: (John D. Anderson, 2010)

$$C_L = \frac{L}{qS} \tag{2-1}$$

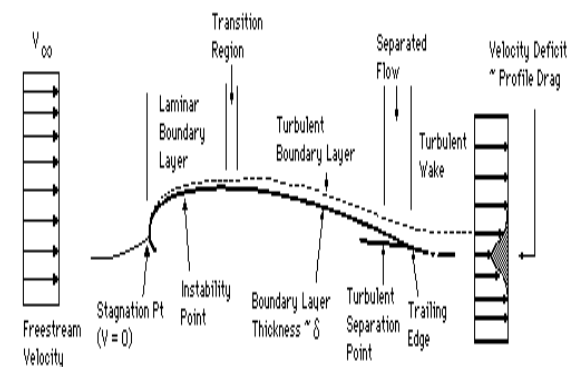
$$C_D = \frac{D}{qS} \tag{2-2}$$

Dimana q adalah tekanan dinamik yang besarnya:

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \tag{2-3}$$

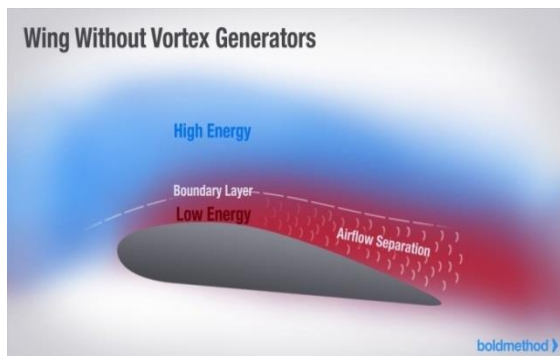
**2.2 Vortex Generator dan Boundary Layer**

*Vortex Generator* (VG) adalah komponen kecil berbentuk *fin* (sirip) ditempatkan di sayap dan permukaan *stabilizer* untuk memodifikasi aliran udara di sekitar permukaan yang mempengaruhi *boundary layer* (lapisan batas). Pemasangan VG dapat meningkatkan *performance* dari pesawat, terutama pada saat kecepatan terbang rendah, *climb* (terbang menanjak), dan sudut serang yang tinggi. (Skopinski, 2010)



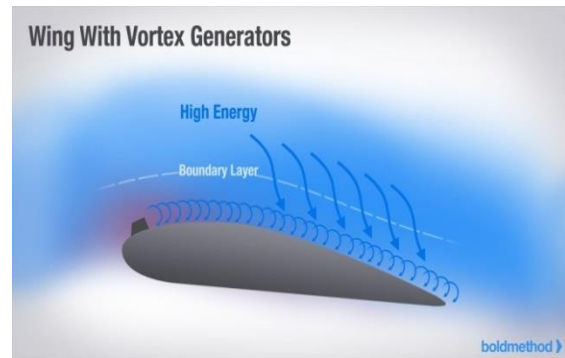
Gambar 2-2: *Boundary layer* pada sayap (Kroo, t.thn.)

Sebagaimana udara mengalir di sayap, tekanan berkurang hingga mencapai *center of lift* - sekitar 25% ke bawah *chord* sayap. Kemudian, tekanan mulai meningkat lagi, sehingga udara bergerak dari daerah tekanan rendah ke tekanan lebih tinggi atau disebut "*adverse pressure gradient*". Karena aliran udara bergerak ke arah tekanan tinggi, itu menyebabkan kehilangan energi. Akhirnya, ketika kehabisan energi, terjadi pemisahan aliran udara di sayap. (Udris, 2015)



Gambar 2-3: Energi pada *boundary layer* sayap tanpa VG (Udris, 2015)

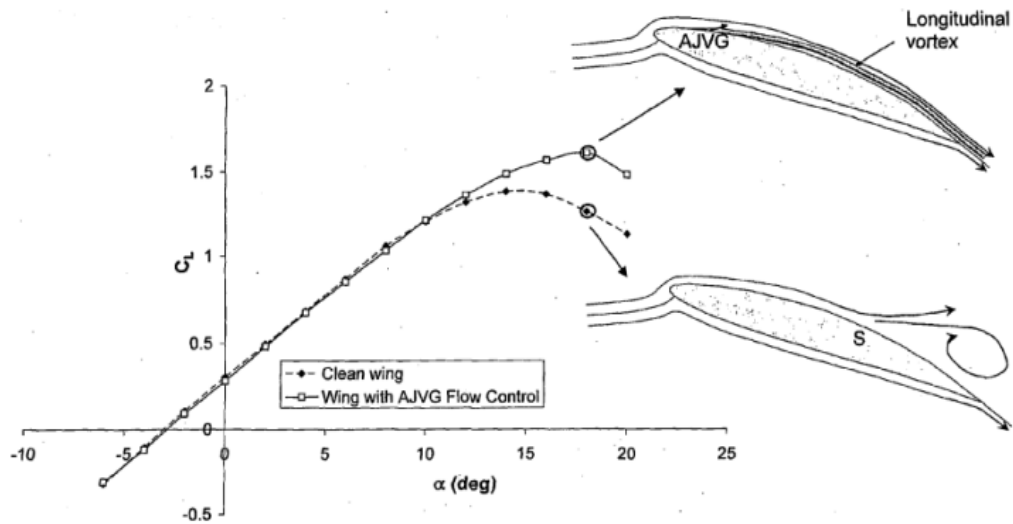
Untuk menghindari pemisahan, atau lebih tepatnya menunda pembentukan gelembung separasi aliran dan mengurangi intensitas pemisahan pada lapisan yang melambat dengan cara mempercepatnya dan "memberikan energi". Karena udara di atas *boundary layer* tidak terpengaruh oleh gesekan *skin*, sehingga memiliki lebih banyak energi daripada udara di dalam *boundary layer*. Jika aliran udara bebas bisa ditarik ke dalam *boundary layer*, energi bisa ditambahkan dan menunda separasi *boundary layer*. (Skopinski, 2010)



Gambar 2-4: Energi pada *boundary layer* sayap dengan VG (Udris, 2015)

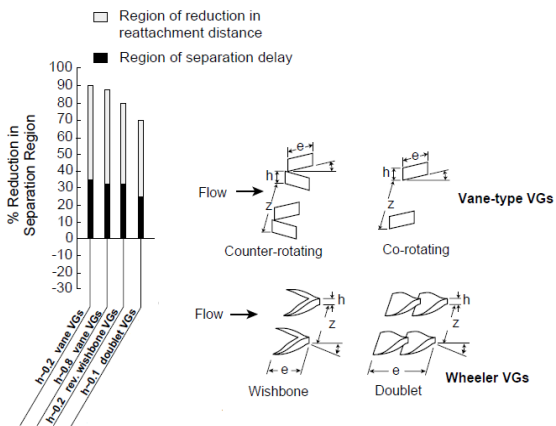
Selama bertahun-tahun banyak solusi telah dirancang untuk mengontrol dan mempengaruhi *boundary layer*. Sebuah solusi sederhana namun sangat efektif adalah dengan menggunakan *turbulator/vortex generator*. *Vortex generator* bertindak seperti sayap kecil dan menciptakan *wingtip vortex* mini berbentuk spiral melalui *boundary layer* dan aliran udara bebas. *Vortex* ini mencampur energi tinggi dari aliran udara bebas dengan energi lebih rendah di *boundary layer*, yang memungkinkan aliran udara di *boundary layer* untuk menahan "*adverse pressure gradient*" lebih lama. Sehingga sayap dapat beroperasi pada sudut serang yang lebih tinggi dan kecepatan *stall* yang lebih rendah dikarenakan nilai koefisien *lift* yang meningkat sebelum pemisahan aliran udara menyebabkan *stall*. (Udris, 2015)

Pada Gambar 2-5 dapat dilihat nilai koefisien *lift* maksimum sayap dengan *vortex generator* lebih tinggi dibandingkan sayap tanpa *vortex generator*. Dan dapat dilihat juga sudut *stall* sayap dengan *vortex generator* juga meningkat.



Gambar 2-5: Kurva koefisien gaya angkat terhadap sudut serang pada sayap sebelum dan sesudah pemasangan VG (Europe Paten No. EP1907279 B1, 2011)

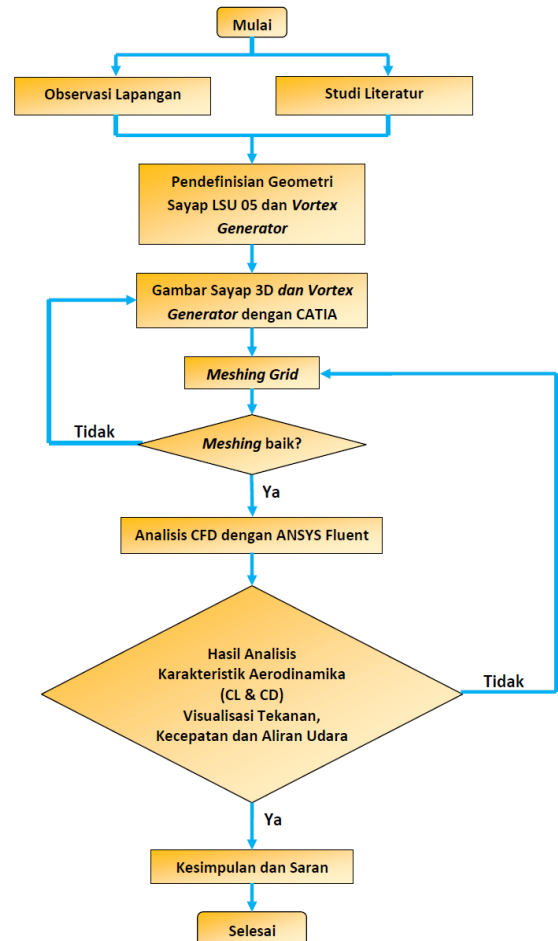
Pada Gambar 2-6 dapat dilihat jenis-jenis geometri dan konfigurasi *vortex generator* beserta tingkat keefektifannya menurut penelitian yang dilakukan oleh John C. Lin.



Gambar 2-6: Geometri *vortex generator* dan parameternya (Lin, 2002)

### 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berikut diagram alir pemecahan masalah analisis karakteristik aerodinamika pengaruh penambahan *vortex generator* pada sayap pesawat tanpa awak LSU-05 dengan simulasi CFD:



Gambar 3-1: Diagram alir penelitian (Romadhon, 2016)

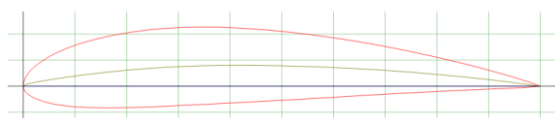
### 3.1 Pendefinisian Geometri Sayap LSU-05 dan Vortex Generator

Sebelum melakukan perancangan geometri sayap dan *vortex generator*, ada parameter-parameter yang perlu diperhatikan, antara lain:

- Geometri sayap diusahakan tetap sesuai dengan desain rancang bangun, agar mempermudah proses validasi, seperti jenis *airfoil* yang digunakan, panjang *wing span* dan *chord*, dan *taper ratio*,
- Menentukan letak pemasangan *vortex generator* dalam persen *chord* sayap dan sudut pemasangannya,
- Menentukan geometri *vortex generator* yang digunakan, seperti: tinggi, panjang, dan tebalnya.

### 3.2 Gambar Sayap 3D dan Vortex Generator dengan CATIA

CATIA merupakan *software* yang digunakan untuk pemodelan atau menggambar sayap dan *vortex generator*. Pada penelitian ini sayap pesawat LSU-05 digambar dalam bentuk 3D. Sayap pesawat LSU-05 yang digambar pada *software* CATIA ini menggunakan *airfoil* NACA 4415 (Gambar 3-2). Pada penelitian ini penulis hanya akan melakukan perbandingan antara sayap tanpa *vortex generator* (Gambar 3-3) dan sayap dengan *vortex generator* (Gambar 3-4). Sayap yang digambarkan pada CATIA cukup setengah dari *wingspan*, dikarenakan bentuk sayap yang simetris serta untuk memudahkan dan mempercepat proses perhitungan simulasi nantinya.

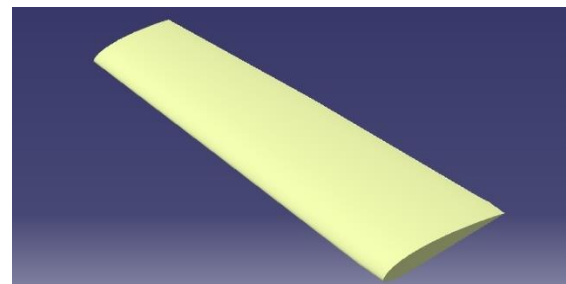


Gambar 3-2: *Airfoil* NACA 4415 ([http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4415\\_il,t.thn](http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4415_il,t.thn).)

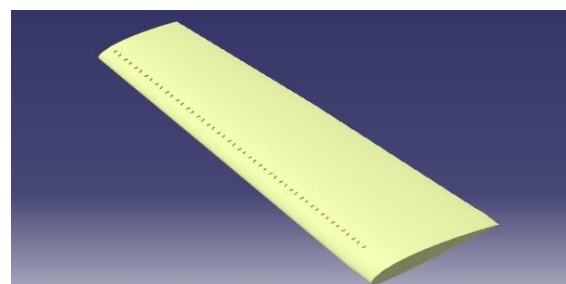
### 3.3 Meshing Grid

Langkah dalam analisis ini setelah model sayap dibuat adalah mengeksport gambar sayap tersebut ke ANSYS

Workbench untuk di-*meshing* dengan aplikasi *Meshing* (ANSYS ICEM CFD). Sebelum sayap di-*meshing* perlu dibuat geometri *boundary* yang berfungsi sebagai terowongan angin virtual pada saat simulasi. Dalam *meshing*, yang terpenting adalah bagaimana *mesh* yang ada merepresentasikan bentuk geometri semirip mungkin, agar hasil analisis CFD (dalam hal ini *Fluent*) tidak melenceng dari yang seharusnya. Semakin banyak jumlah elemen, maka bentuk geometri akan semakin mirip dan hasil akan lebih akurat. Namun jumlah elemen juga harus dibatasi agar tidak terlalu banyak sehingga boros dan hanya memakan waktu komputasi yang lebih banyak namun tidak mempengaruhi hasil. Batasan jumlah elemen juga dipengaruhi oleh *resource* komputer yang ada, khususnya memori.

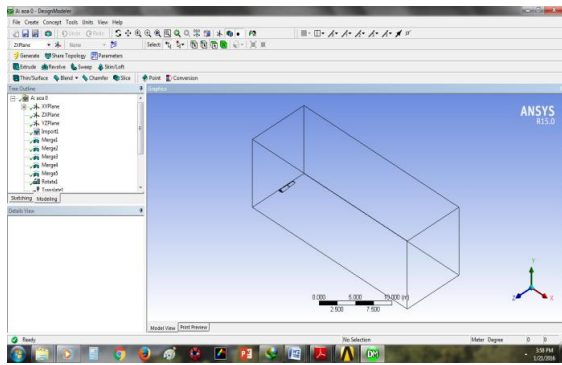


Gambar 3-3: Sayap tanpa *vortex generator* (CATIA, Software Package, Ver. 5.21, Dessault system, 1998-2011)

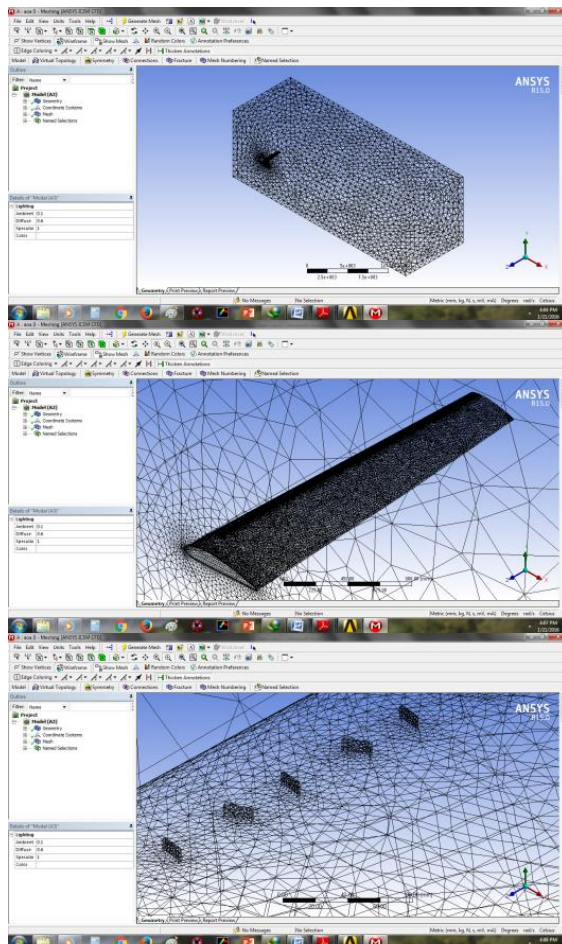


Gambar 3-4: Sayap dengan *vortex generator*

Apabila dalam proses pembuatan *grid* (*meshing*) terjadi *error* atau kualitas *mesh* yang buruk, maka perlu dilakukan perbaikan model geometri pada CATIA atau *Design Modeler* untuk menghilangkan bidang yang terlalu kecil dan sempit serta sudut yang terlalu tajam sampai diperoleh hasil *meshing grid* yang baik.



Gambar 3-5: Pembuatan *boundary* sebagai terowongan angin virtual FLUENT, Software Package, Ver. 6,3, ANSYS, Inc., 2011)



Gambar 3-6: *Meshing grid* pada sayap dan *vortex generator* (Romadhon, 2016)

**4 PESAWAT LSU-05**

**4.1 Geometri Sayap Pesawat LSU-05**

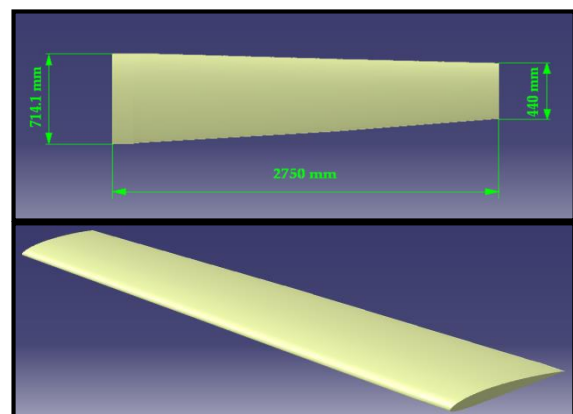
Dalam penelitian ini geometri sayap disederhanakan untuk memudahkan dalam proses pemodelan dan *meshing* dengan menyatukan permukaan bidang kemudi *aileron* dan *flap* dengan sayap. Diasumsikan sayap

dalam kondisi tidak ada defleksi *flap* dan *aileron* (defleksi = 0°).

Jumlah elemen *meshing* sangat mempengaruhi lamanya proses analisis CFD. Dalam pemodelan dengan CATIA, sayap digambarkan setengah dari panjang sayap karena bentuknya yang simetris (Gambar 4-1). Karena geometri sayap setengah maka jumlah elemen *meshing* yang harus dibuat menjadi lebih sedikit, sehingga proses analisis CFD menjadi lebih cepat daripada menggunakan geometri sayap penuh. Parameter geometri sayap pesawat LSU-05 dapat dilihat pada Tabel 4-1 dan Gambar 4-1.

Tabel 4-1: GEOMETRI SAYAP PESAWAT LSU-05 (Pramutadi, 2013)

Parameter	Satuan
<i>Wing Span</i>	5,5 m
Luas Sayap	3,246 m <sup>2</sup>
<i>Chord Root</i>	0,714 m
<i>Chord Tip</i>	0,44 m
<i>Taper Ratio</i>	0,616
<i>Aspect Ratio</i>	9,32
<i>Twist Angle</i>	0°
<i>Swept Angle</i>	0°
<i>Angle of Incidence</i>	3°
<i>Airfoil</i>	NACA 4415



Gambar 4-1: Geometri sayap pesawat LSU-05

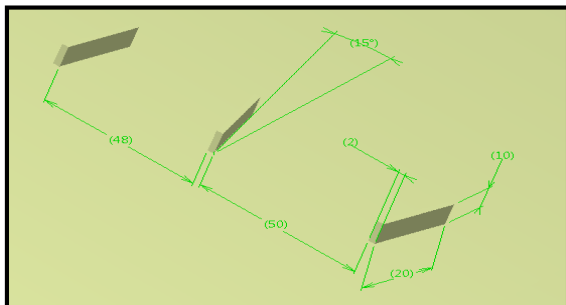
**4.2 Geometri *Vortex Generator***

Dalam penelitian ini jenis *vortex generator* yang digunakan adalah tipe *vane* berbentuk *rectangular* (persegi panjang) dengan konfigurasi *counter-*

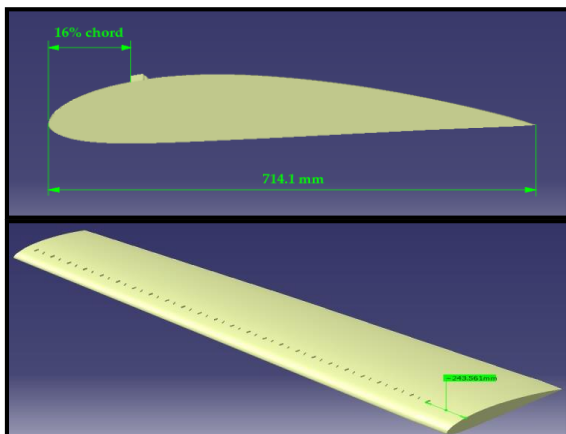
rotating. Parameter geometri *vortex generator* ditunjukkan pada tabel 4-2, gambar 4-2 dan gambar 4-3.

Tabel 4-2: GEOMETRI *VORTEX GENERATOR*

Parameter	Satuan
Tinggi	10 mm
Panjang	20 mm
Tebal	2 mm
Sudut kemiringan	15°
Jarak antar VG	48 mm dan 50 mm
Letak Pemasangan VG	16% chord



Gambar 4-2: Geometri *vortex generator*



Gambar 4-3: Letak pemasangan *vortex generator* pada sayap LSU-05 (Romadhon, 2016)

## 5 HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis membahas tentang komputasi karakteristik aerodinamika pengaruh penambahan *vortex generator* sayap pesawat LSU-05. Untuk membuat geometri model digunakan *Software CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application)* dan untuk menganalisis

karakteristik aerodinamika pada sayap digunakan *software ANSYS Fluent*. Dimensi model yang digunakan dalam komputasi adalah 3 Dimensi.

Berikut tabel kondisi simulasi yang akan dimasukkan kedalam ANSYS Fluent:

Tabel 5-1: KONDISI SIMULASI (Tuakia, 2008)

Parameter	Besaran
<i>Solver</i>	3 Dimensi, <i>Pressure Based</i>
Model <i>Viscous</i>	<i>Spalart-Allmaras</i>
Material	<i>Fluid - Air</i> (udara)
<i>Density</i>	1,225 kg/m <sup>3</sup>
<i>Viscosity</i>	1,7894 x 10 <sup>-5</sup> kg/m-s
<i>Operation Pressure</i>	101325 N/m <sup>2</sup>
Kondisi Batas <i>Inlet</i>	<i>Velocity Inlet</i>
Kondisi Batas <i>Wing</i>	<i>Wall</i>
Kondisi Batas <i>Sym</i>	<i>Symmetry</i>
Kondisi Batas <i>Walls</i>	<i>Wall</i>
Kondisi Batas <i>Outlet</i>	<i>Pressure Outlet</i>
Kecepatan Aliran	26 m/s (Re = 1.27x10 <sup>6</sup> )
Sudut Serang ( <i>a</i> )	-9°, -6°, -3°, 0°, 3°, 6°, 9°, 10°, 11°, 12°, 13°, 14° dan 15°

### 5.1 Hasil Simulasi Karakteristik Aerodinamika Pengaruh Penambahan *Vortex Generator* Sayap Pesawat LSU-05

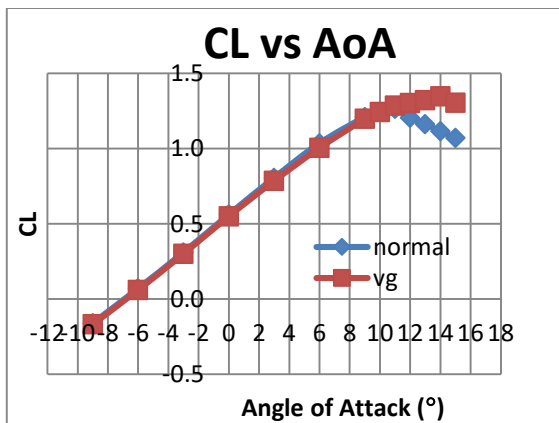
Hasil simulasi menggunakan ANSYS Fluent merupakan hasil analisis karakteristik aerodinamik yang berupa beberapa parameter, yakni koefisien *lift* ( $C_L$ ), koefisien *drag* ( $C_D$ ) dan sudut serang ( $\alpha$ ). Hasil analisis karakteristik aerodinamika dengan penambahan *vortex generator* sayap pesawat LSU-05 ini berupa grafik, tabel, kontur dan animasi udara yang melewati sayap pesawat LSU-05. Berikut grafik dari hasil simulasi sayap yang berupa karakteristik aerodinamika, yakni koefisien *lift* ( $C_L$ ),



koefisien *drag* ( $C_D$ ) dan koefisien rasio *lift-drag* ( $C_L/C_D$ ) terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).

**5.1.1 Koefisien Lift Terhadap Sudut Serang**

Berikut ini grafik hasil simulasi koefisien *lift* terhadap sudut serang. Grafik ini akan mengevaluasi *performance* aerodinamik dari karakteristik sayap normal (tanpa *vortex generator*) dan sayap dengan *vortex generator* yang berupa parameter koefisien *lift* maksimum ( $C_{Lmax}$ ) dan sudut *stall* ( $\alpha_s$ ).



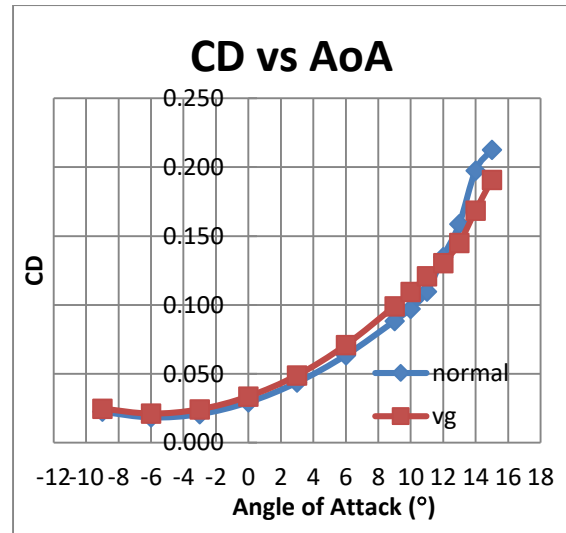
Gambar 5-1: Grafik hasil simulasi koefisien *lift* terhadap sudut serang perbandingan sayap normal dan sayap dengan *vortex generator*. (Romadhon, 2016)

Dari Gambar 5-1 terlihat nilai koefisien *lift* maksimum pada sayap normal (tanpa *vortex generator*) adalah 1,26450 sedangkan nilai koefisien *lift* maksimum sayap dengan *vortex generator* adalah 1,34840, hal tersebut menunjukkan bahwa sayap pesawat LSU 05 jika ditambahkan *vortex generator* maka akan mengalami peningkatan koefisien gaya angkat sebesar 0,0839 atau 6,63%. Sudut *stall* pada sayap normal (tanpa *vortex generator*) adalah 11° sedangkan sudut *stall* sayap dengan *vortex generator* adalah 14°, mengalami peningkatan sebesar 3° atau 27.7 %.

**5.1.2 Koefisien Drag Terhadap Sudut Serang**

Berikut ini grafik hasil simulasi koefisien *drag* terhadap sudut serang. Grafik ini akan menampilkan *performance*

aerodinamik dari karakteristik sayap normal (tanpa *vortex generator*) dan sayap dengan *vortex generator* yang berupa parameter koefisien *drag* dan sudut serang.

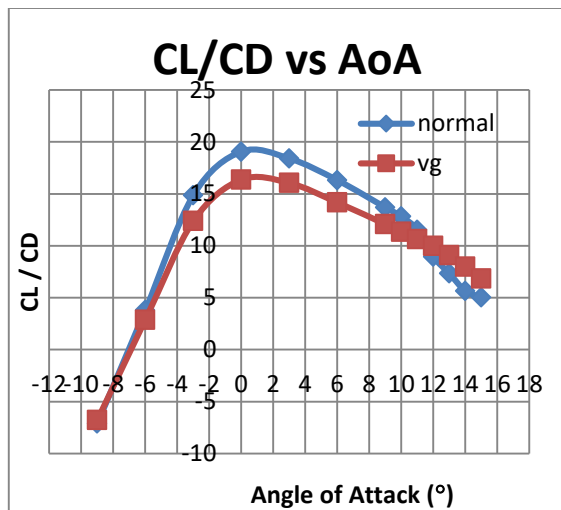


Gambar 5-2: Grafik hasil simulasi koefisien *drag* terhadap sudut serang perbandingan sayap normal dan sayap dengan *vortex generator*. (Romadhon, 2016)

Berdasarkan pada Gambar 5-2 pada sudut serang -9° s.d 11° nilai koefisien *drag* sayap normal (tanpa *vortex generator*) lebih rendah dibandingkan nilai koefisien *drag* sayap dengan *vortex generator*. Hal ini dikarenakan bentuk geometri *vortex generator* mengakibatkan penambahan *drag*. Setelah melewati sudut serang 11°, nilai koefisien *drag* sayap normal (tanpa *vortex generator*) menjadi lebih tinggi dibandingkan nilai koefisien *drag* sayap dengan *vortex generator*. Hal ini disebabkan sudah terjadinya separasi aliran udara pada sayap normal (tanpa *vortex generator*) sehingga nilai koefisien *drag*-nya bertambah, sedangkan pada sayap dengan *vortex generator* belum terjadi separasi aliran udara. Pengaruh penambahan *vortex generator* paling signifikan terjadi pada sudut serang 14° yaitu adanya penurunan nilai koefisien *drag* pada sayap pesawat LSU 05 sebesar 0,02895 atau 14.66%.

### 5.1.3 Koefisien Rasio Lift-Drag Terhadap Sudut Serang

Berikut ini grafik hasil simulasi koefisien rasio *lift-drag* terhadap sudut serang. Grafik ini menunjukkan efisiensi aerodinamik dari karakteristik sayap normal (tanpa *vortex generator*) dan sayap dengan *vortex generator* yang berupa parameter koefisien rasio *lift-drag* maksimum.



Gambar 5-3: Grafik hasil simulasi koefisien rasio *lift-drag* terhadap sudut serang perbandingan sayap normal dan sayap dengan *vortex generator*. (Romadhon, 2016)

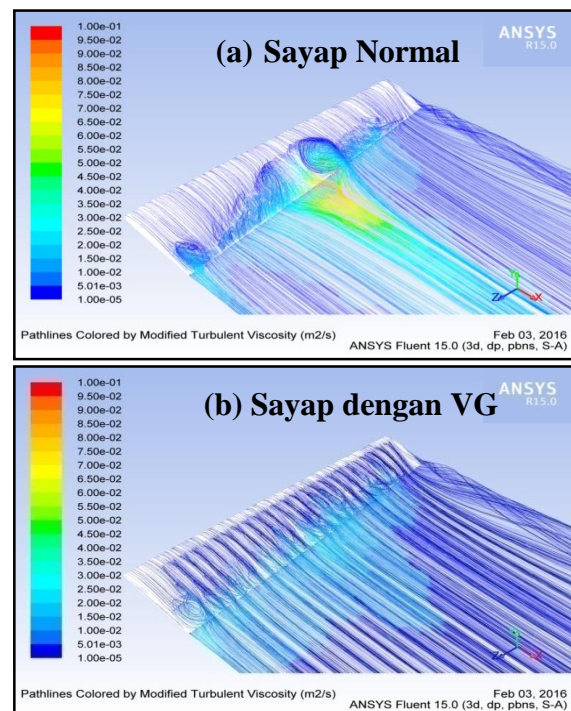
Berdasarkan pada Gambar 5-3 pada sudut serang  $-9^\circ$  s.d  $11^\circ$  nilai koefisien rasio *lift-drag* sayap normal (tanpa *vortex generator*) lebih tinggi dibandingkan nilai koefisien rasio *lift-drag* sayap dengan *vortex generator*. Hal ini dikarenakan bentuk geometri *vortex generator* mengakibatkan penambahan *drag* seperti yang dijelaskan pada subbab 5.1.2 sebelumnya. Setelah melewati sudut serang  $11^\circ$ , nilai koefisien rasio *lift-drag* sayap normal (tanpa *vortex generator*) menjadi lebih rendah dibandingkan nilai koefisien rasio *lift-drag* sayap dengan *vortex generator*. Pengaruh penambahan *vortex generator* paling signifikan terjadi pada sudut serang  $14^\circ$  yaitu adanya peningkatan nilai koefisien rasio *lift-drag* pada sayap LSU 05 sebesar 2,34930 atau 41,56%. Akan tetapi pada sudut serang  $0^\circ$  terjadi penurunan nilai koefisien rasio

*lift-drag* maksimum pada sayap LSU 05 sebesar 2,68072 atau 14,05%.

### 5.1.4 Visualisasi Aliran

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil visualisasi dari fenomena aliran udara yang terjadi di sepanjang sayap normal (tanpa *vortex generator*) dan sayap dengan *vortex generator* berupa *turbulent pathline* dan *velocity pathline* yang berguna untuk melengkapi hasil simulasi yang dijelaskan sebelumnya.

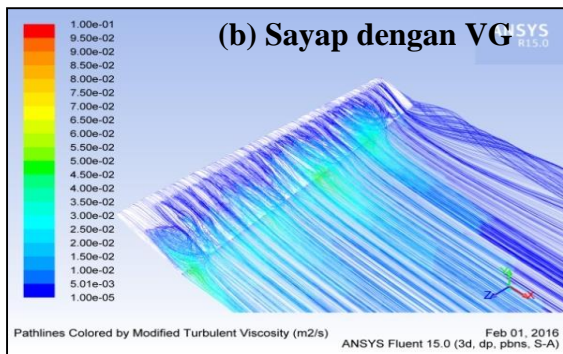
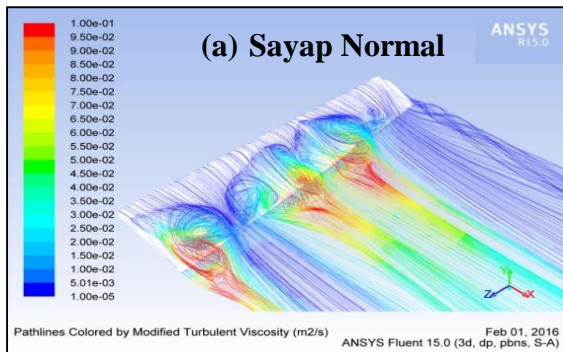
Pada Gambar 5-4 dan 5-5 menunjukkan visualisasi *turbulent pathline* sedangkan Gambar 5-6 dan 5-7 menunjukkan visualisasi *turbulent pathline*, dengan sudut serang sayap masing-masing  $12^\circ$  dan  $14^\circ$ . Sayap normal (tanpa *vortex generator*) ditunjukkan oleh gambar (a) dan sayap dengan *vortex generator* ditunjukkan oleh gambar (b).



Gambar 5-4: Perbandingan *turbulent pathline* pada sudut serang  $12^\circ$  (Romadhon, 2016)

Pada Gambar 5-4 dapat dilihat distribusi aliran sayap normal (tanpa *vortex generator*) terjadi ulakan besar dan berwarna kekuningan menunjukkan intensitas turbulensi tinggi menyebabkan separasi, sedangkan aliran sayap dengan

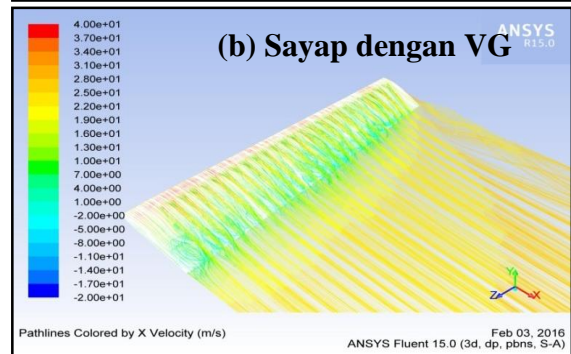
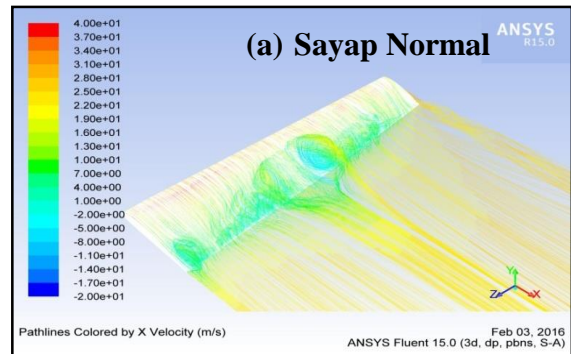
*vortex generator* masih berwarna biru menunjukkan belum terjadi separasi.



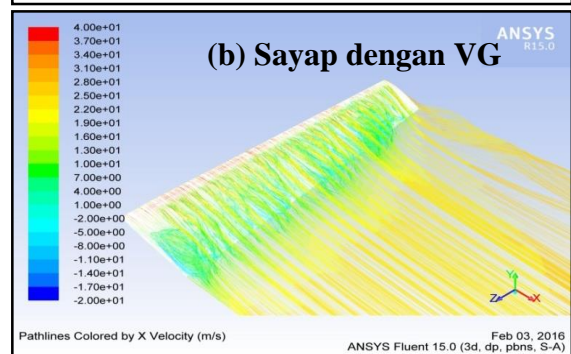
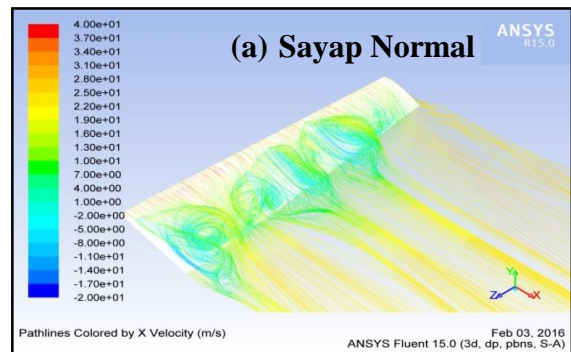
Gambar 5-5: Perbandingan *turbulent pathline* pada sudut serang  $14^\circ$  (Romadhon, 2016)

Pada Gambar 5-5 dapat dilihat distribusi aliran sayap normal (tanpa *vortex generator*) terjadi ulakan besar semakin banyak dan berwarna kemerahan menunjukkan separasi semakin parah, sedangkan aliran sayap dengan *vortex generator* masih berwarna biru menunjukkan belum terjadi separasi.

Pada Gambar 5-6 dapat dilihat distribusi kecepatan aliran sayap normal (tanpa *vortex generator*) terjadi ulakan besar dan berwarna kebiruan menunjukkan kecepatan yang negatif menyebabkan separasi, sedangkan distribusi kecepatan aliran sayap dengan *vortex generator* masih merata berwarna hijau kekuningan dan belum terjadi separasi.



Gambar 5-6: Perbandingan *velocity pathline* pada sudut serang  $12^\circ$  (Romadhon, 2016)

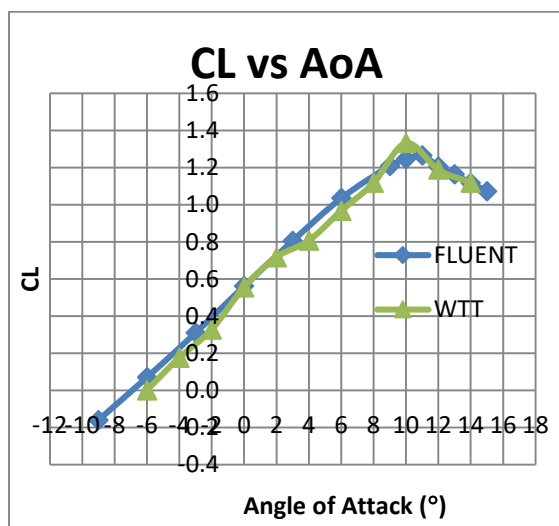


Gambar 5-7: Perbandingan *velocity pathline* pada sudut serang  $14^\circ$  (Romadhon, 2016)

Pada Gambar 5-7 dapat dilihat distribusi kecepatan aliran sayap normal (tanpa *vortex generator*) terjadi ulakan semakin banyak dan berwarna kebiruan menunjukkan kecepatan yang negatif menyebabkan separasi yang semakin parah, sedangkan distribusi kecepatan aliran sayap dengan *vortex generator* masih merata berwarna hijau kekuningan menunjukkan belum terjadi separasi.

### 5.2 Validasi Hasil Simulasi ANSYS Fluent

Validasi dari hasil simulasi penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh hasil simulasi menggunakan ANSYS Fluent mendekati hasil uji terowongan angin. Data yang digunakan dalam validasi ini berupa nilai koefisien *lift* terhadap sudut serang sayap tanpa *vortex generator* dari hasil simulasi ANSYS Fluent dan data hasil uji terowongan angin yang dilakukan Bidang Teknologi Aerodinamika Pustekbang LAPAN. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi penelitian ini dengan hasil uji terowongan angin.



Gambar 5-8: Grafik perbandingan hasil simulasi ANSYS Fluent dan hasil uji terowongan angin. (Romadhon, 2016)

Pada Gambar 5-8 dapat dilihat grafik koefisien *lift* hasil simulasi ANSYS Fluent dan hasil uji terowongan angin mempunyai bentuk yang hampir sama. Kalaupun ada perbedaan dari segi *slope*

grafik, karena hasil simulasi ANSYS Fluent dipengaruhi kualitas *meshing*, yang akan berpengaruh pada ketelitian CFD Solver dan pada saat hasil uji terowongan angin kemungkinan terjadi gangguan yang menyebabkan kurva grafik tidak terlalu linear. Jika hasil uji terowongan angin merupakan nilai sebenarnya dan hasil *fluent* merupakan nilai yang terbaca maka perhitungan galat (*error*) dapat diperoleh. Nilai galat merupakan nilai penyimpangan pada perbandingan dari beberapa data. Pada Tabel 5-5 dapat dilihat perhitungan galat hasil simulasi ANSYS Fluent dan hasil uji terowongan angin dari segi parameter aerodinamik khususnya koefisien lift.

Tabel 5-5: PERHITUNGAN GALAT HASIL SIMULASI ANSYS FLUENT DAN UJI TEROWONGAN ANGIN

Parameter	FLUENT	WTT	Galat (%)
$C_{L0}$	0.561	0.555	1.07
$C_{LMAX}$	1.26450	1.332616	-5.38
$\alpha_{stall}$	11	10	9.09
$C_{La}$	0.073479	0.083279	-13.99

Berdasarkan Tabel 5-5 terlihat bahwa nilai galat untuk semua parameter yang tertera di tabel, jika positif artinya nilai hasil terowongan angin lebih kecil dari hasil simulasi sedangkan negatif artinya nilai hasil terowongan angin lebih besar dari hasil simulasi.

### 6 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

- a. Penambahan *vortex generator* pada sayap pesawat LSU-05 pada penelitian ini menyebabkan:
  - Peningkatan nilai koefisien *lift* maksimum sayap sebesar 0,0839 (6,63%) dan peningkatan sudut *stall* sayap sebesar 3° (27,7 %),
  - Peningkatan nilai koefisien *drag* pada sudut serang -9° s.d 11° dan penurunan nilai koefisien *drag* pada sudut serang

12° s.d 15° dengan nilai penurunan koefisien *drag* paling signifikan terjadi pada sudut serang 14° dari sebesar 0,02895 (14.66%).

- Penurunan nilai koefisien rasio *lift-drag* maksimum sebesar 2,68072 atau 14,05% pada sudut serang 0° dan peningkatan nilai koefisien rasio *lift-drag* sebesar 2,34930 atau 41,56% pada sudut serang 14°.

b. Perbandingannya

Parameter	Sayap Normal	Vortex Generator
Clmax	1,2645	1,3484
CD	0,1096	0,1685
Sudut stall	11°	14°
CL/CD	11,53741	8,00237

c. Hasil validasi data simulasi CFD (ANSYS Fluent) memiliki keakuratan yang cukup dekat terhadap data uji terowongan angin, namun hasil simulasi tidak sama persis dengan hasil eksperimen karena metode numerik memiliki keterbatasan.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih disampaikan kepada Gunawan S.P dan Ir. Agus Aribowo yang telah mengizinkan untuk pelaksanaan kegiatan atau penelitian ini serta teman-teman khususnya di laboratorium aerodinamika yang telah membantu dalam proses penelitian ini dan Drs. Agus Harno Nurdin Syah selaku pembina dan memberi masukan di lingkungan Pustekbang.

**DAFTAR RUJUKAN**

Andrew, S., 2011. *Europe Paten No. EP1907279 B1*.

Atik Bintoro, Gunawan S.P., 2013. *Penelitian dan Kajian Teknologi Pesawat Terbang*. Jakarta: Indonesia Book Project (IBP).

CATIA, *Software Package, Ver. 5.21, Dessault System*. (1998 - 2011).

FLUENT, *Software Package, Ver. 6.3, ANSYS, Inc*. (2011).

<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4415-il>. (t.thn.).

John D., Anderson, J., 2010. *Fundamentals of Aerodynamics*. New York: 5rd Edition McGraw-Hill.

Kroo, I. (t.thn.). *Viscosity and Boundary Layers*. Diambil dari <http://adg.stanford.edu/aa200b/blayers/blayers.html>.

Lin, J. C., 2002. *Review of Research on Low-Profile VOrtex Generators to Control Boundary-Layer Separation, Progress in Aerospace Sciences*. Diambil dari <http://fluid.nuae.nagoya-u.ac.jp/stdexp/2013/transonic/document/low-profile%20vortex%20generators.pdf>.

Pramutadi, A. M., 2013. *Laporan Kemajuan Class II UAV + part 2, Laporan Teknis*. Bogor: LAPAN.

Romadhon, A., 2016. *Analisis Karakteristik Aerodinamika Pengaruh Penambahan Vortex Generator Pada Sayap Pesawat Tanpa Awak LSU-05 Dengan Simulasi CFD (Skripsi)*. Bandung, Indonesia: Universitas Nurtanio Bandung.

Skopinski, J., 2010. *Vortex Generators*. Diambil dari Aero-Service: <http://www.vortex-generators.com/vortex-generators.html>.

Tuakia, F., 2008. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika.

Udris, A., 2015. *Vortex Generators: Preventing Stalls at High And Low Speeds*. Diambil dari <http://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aerodynamics/vortex-generators/>.

