

ANALISA PEMILIHAN BENTUK VORTEX GENERATOR UNTUK SAYAP PESAWAT LSU-05 MENGGUNAKAN METODE NUMERIK (ANALYSIS OF VORTEX GENERATOR SELECTION FOR LSU-05 AIRCRAFT USING NUMERICAL METHODS)

Dana Herdiana¹ dan Firman Hartono²

¹FTMD, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40116, Indonesia

^{1,2}Pusat Teknologi Penerbangan – LAPAN, Bogor 16350, Indonesia

¹e-mail : dana.herdiana@lapan.go.id dan firman7738@gmail.com

Diterima : 23 September 2019; Direvisi : 26 Maret; Disetujui : 4 April 2020

ABSTRAK

Pada makalah ini dipresentasikan investigasi pemilihan bentuk *vortex generator* untuk sayap pesawat LSU-05 menggunakan metode numerik. Salah satu penyebab LSU-05 mengalami ketidak gagalan/ketidak mulusan bermanuver adalah kurangnya koefisien gaya angkat maksimum. Untuk mengatasi hal tersebut maka ada beberapa solusi yang dapat mengatasi hal tersebut. Salah satunya yaitu dengan penambahan komponen pada sayap yaitu *vortex generator*. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode numerik yaitu mensimulasikan penambahan *vortex generator* pada sayap dengan berbagai varian bentuk dan posisi pemasangan dari *vortex generator* menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamic). Model yang disimulasikan adalah model sayap saja dan sayap dengan *vortex generator*. Bentuk yang dipilih untuk *vortex generator* adalah *rectangular*, *triangular*, dan *gothic (mod)* serta posisi pasang mulai dari 15 %, 20 %, dan 25 % dari panjang *chord*. Dari hasil yang diperoleh bentuk *triangular* memiliki nilai CL_{max} yang lebih besar dibanding bentuk *rectangular* dan *gothic (mod)* yaitu 1.4553 dan posisi pasang yang memiliki CL_{max} yang lebih besar yaitu di posisi pasang 20%. Bentuk *vortex generator* yang cocok dipasang pada sayap pesawat LSU-05 adalah bentuk *triangular* di posisi pasang 20%.

Kata kunci: *Pesawat LSU-05, Vortex Generator, CFD, Koefisien gaya angkat maksimum.*

ABSTRACT

In this paper presented an investigation into the selection of a vortex generator for wing of LSU-05 aircraft using the numeric method. One of the causes of LSU-05 experiencing maneuver failure is the lack of maximum lift coefficient. To overcome this, there are several solutions that can overcome this. One of them is by adding components to the wing, namely vortex generator. The method used for this research is a numerical method that simulates the addition of vortex generators to the wings with various variants of the shape and mounting position of the vortex generator using CFD (Computational Fluid Dynamic). The simulated model is a wing only and wing model with a vortex generator. The shape chosen for the vortex generator is rectangular, triangular, and gothic (mod) and the position of pairs starts from 15%, 20%, and 25% of the length of the chord. From the results obtained for the triangular shape has a CL_{max} value that is greater than the rectangular and gothic (mod) shapes of 1.4553 and the position of the pairs that have a greater CL_{max} that is at the position of pairs of 20%. The suitable vortex generator mounted on the wing of the LSU-05 aircraft is a triangular shape at 20% tide position.

Keywords : LSU-05 aircraft, Vortex Generator, CFD, Maximum Coeficient Lift.

1 PENDAHULUAN

Penelitian dilakukan pada pesawat nir awak yang dikembangkan oleh LAPAN, salah satunya yaitu pesawat LSU-05. LSU-05 merupakan singkatan dari LAPAN *Surveillance UAV series* ke-5. 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). (Prabowo, 2013)

Dalam melakukan kegiatan penelitian diperlukan suatu pengujian untuk mendapatkan hasil yang optimal. Telah dilakukan pengujian dengan melakukan terbang perdana pesawat LSU-05 dimana berat pesawat sekitar 75 kg, panjang sayap 5,5 m, dan luas sayap 3,22 m². Kecepatan operasi yang diperoleh yaitu sekitar 26 m/s saat kondisi cruise. Dari hasil uji terbang perdana telah dievaluasi bahwa terdapat

kekurangan pada saat pesawat melakukan *take off* dan manuver, informasi tersebut berdasarkan *visual* dan *feeling* dari pilot yang mengendalikan pesawat dengan *remote control*. Kekurangan yang dimaksud adalah dari segi prestasi terbang (*performance*) pada karakteristik aerodinamika yaitu koefisien gaya angkat.

Untuk mengantisipasi hal tersebut maka ada beberapa solusi yang dapat dilakukan yaitu diantaranya dengan menambah luasan dari permukaan kendali, merubah airfoil, menambah *vortex generator* (VG), dan lain-lain. Dalam hal ini diambil solusi menambah *vortex generator* karena tidak merubah konfigurasi secara signifikan dan lebih hemat. Menurut Vasantha Kumar, Solusi menambah *vortex generator* dapat menghindari separasi yang terjadi pada permukaan sayap (G.Vasantha Kumar 2016).

Konsep menggunakan *vortex generator* untuk meningkatkan prestasi terbang tentu bukan hal yang baru dan sudah ada sejak tahun 1940-an,

sebagian besar perusahaan pesawat mulai menguji untuk menentukan manfaat dari VG. (Raykowski, 1999) *Vortex Generator* 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*. (Romadhon, 2016)

Metode numerik yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode simulasi yaitu mensimulasikan model menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamic). CFD yang digunakan adalah perangkat lunak Ansys CFX. Adapun bentuk yang akan dijadikan kandidat adalah bentuk *rectangular*, *triangular*, dan *gothic* (mod). Ketiga bentuk tersebut dipilih karena yang lazim digunakan dalam penelitian dan mudah dalam pembuatannya. Selain pemilihan bentuk juga dilakukan penelitian dengan perbedaan posisi pemasangan *vortex generator* yaitu diposisi 15%, 20%, dan 25% dari panjang *chord*, dimana panjang *chord* yang diambil adalah pada bagian *root* dan *tip chord*. Panjang *root chord* dari sayap pesawat LSU-05 sebesar 730 mm dan *tip chord* sebesar 440 mm. Penelitian juga akan dilakukan dengan memvariasikan sudut serang yaitu mulai dari -8, -6, -4, 0, 4, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, dan 18 serta kecepatan yang ditentukan yaitu 26 m/s pada kondisi terbang *cruise* dan *ambient*.

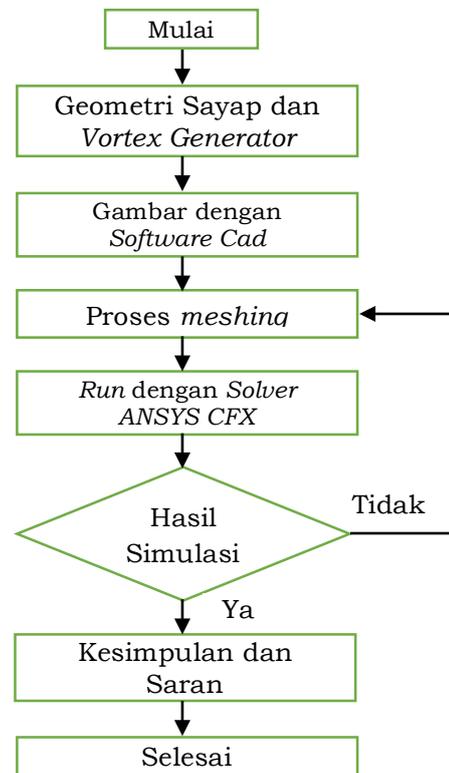
Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk memperoleh data aerodinamika khususnya koefisien gaya angkat maksimum (CL_{max}) yang diperoleh dari hasil simulasi perbedaan bentuk dan posisi pemasangan *vortex generator* dan seberapa besar efek *vortex generator* terhadap koefisien gaya angkat maksimum (CL_{max}) pada sayap pesawat LSU-05 dengan perbedaan bentuk dan

posisi pemasangan *vortex generator*. Dari hasil penelitian, diharapkan dengan terpilihnya bentuk *vortex generator* dan posisi yang tepat pada sayap pesawat LSU-05 dapat meningkatkan koefisien gaya angkat maksimum pada kondisi *take off* maupun manuver, sehingga prestasi terbang yang diinginkan akan tercapai.

Makalah ini merupakan pengembangan dari makalah sebelumnya yang ditulis oleh Awal Ramadhan dan Dana Herdiana (Herdiana, 2017).

2 METODOLOGI

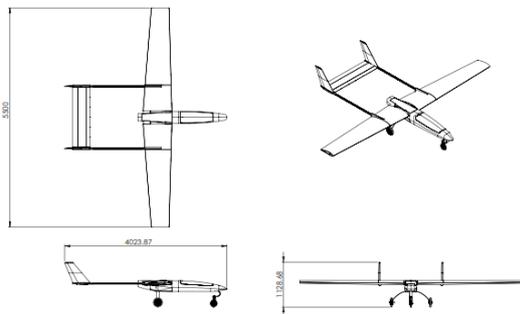
Data yang diharapkan dari penelitian ini adalah data hasil simulasi berupa data karakteristik aerodinamika yaitu koefisien gaya angkat dan hambat tanpa dan dengan *vortex generator*. Data yang akan dijadikan sebagai input adalah data geometri dari pesawat LSU-05 dan *vortex generator* dimana data tersebut diperoleh dari hasil perancangan.



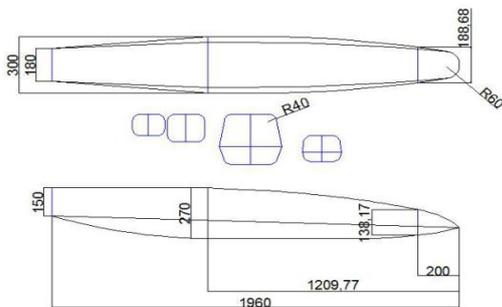
Gambar 2-1: Flowchart penelitian.

Parameter simulasi dan pengujian akan dilakukan pada kondisi ambient, kecepatan 26 m/s, kondisi terbang *cruise* dan suhu 300 °K (26.5 °C), dengan variasi konfigurasi yaitu konfigurasi sayap saja dan sayap + *vortex generator* serta variasi sudut serang mulai dari -8, -6, -4, 0, 4, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16 dan 18. Untuk *vortex generator* akan dipilih tiga bentuk dengan variasi sudut pasang. Simulasi akan dilakukan menggunakan perangkat komputer. **Geometri Pesawat**

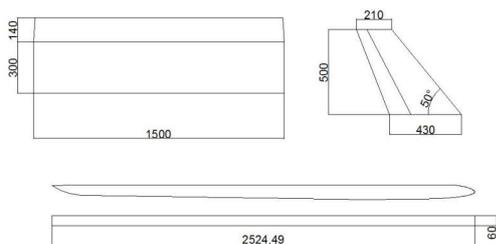
Berikut geometri dari pesawat tersebut.



Gambar 2-2: Desain Pesawat LSU-05 (Romadhon, 2016).

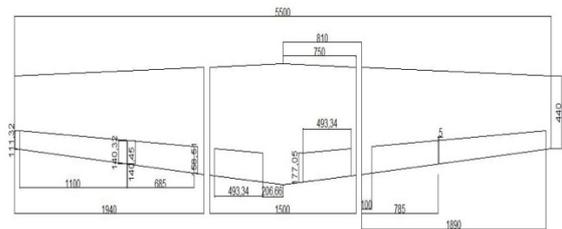


Gambar 2-3. Geometri bagian *fuselage* (Pramutadi, 2013).



Gambar 2-4: Geometri ekor dan boom ekor (Pramutadi, 2013).

Untuk geometri sayap pesawat LSU-05 dibuat *tapered*. Sayap ini dipasang dibagian belakang atas *fuselage* dimana terdapat *mounting* untuk mengikat sayap dengan *fuselage* menggunakan baut. Pada sayap juga terpasang *tailboom* untuk menghubungkan sayap dengan ekor horizontal dan vertical. Sayap ini juga dilengkapi dengan pengendali *flap* dan *aileron*. Berikut geometri dari sayap tersebut.

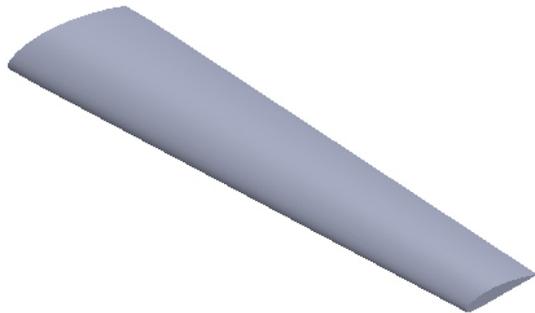
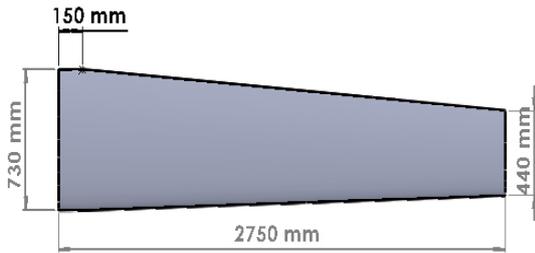


Gambar 2-5: Geometri sayap (Pramutadi, 2013).

Untuk penelitian ini, geometri sayap akan dibuat setengah dari panjang sayapnya dan tidak terdapat pengendali seperti *flap* dan *aileron* (konfigurasi clean). Tujuannya adalah untuk mempermudah dan menyederhanakan pemodelan dalam proses *meshing*.

Tabel 2-1: GEOMETRI SAYAP PESAWAT LSU-05

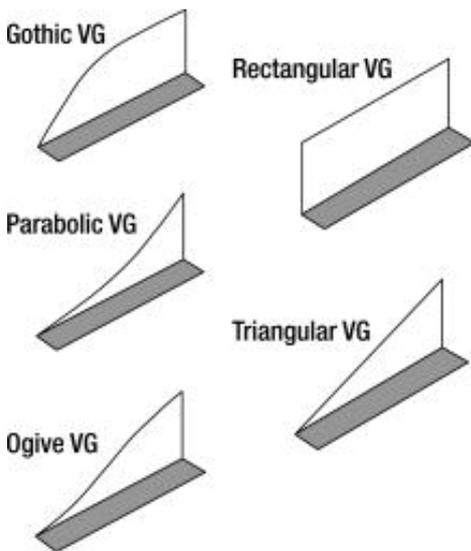
Parameter	Satuan
<i>Wing Span</i>	5500 mm
Luas sayap	3261000 mm ²
<i>Root chord</i>	730 mm
<i>Tip chord</i>	440 mm
Airfoil	NACA 4415
<i>Taper ratio</i>	0.603
<i>Angle of Incidence</i>	3°



Gambar 2-6: Geometri sayap untuk pemodelan simulasi (SOLIDWORKS, 2015).

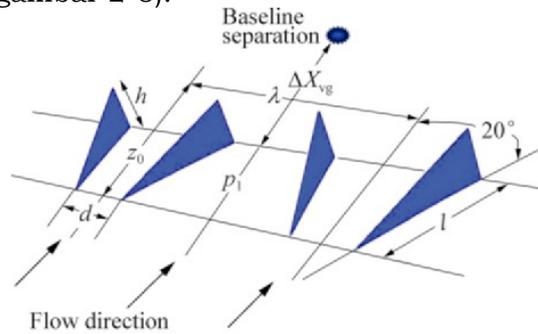
2.1. Geometri Vortex Generator

Dalam penelitian ini jenis *vortex generator* yang digunakan ada 3 jenis yaitu jenis *vane* berbentuk *rectangular* (persegi panjang), *triangular* (segitiga), dan *gothic (mod)* dengan konfigurasi *counter rotating*. Adapun bentuk-bentuk *vortex generator* yang lazim digunakan adalah sebagai berikut



Gambar 2-7: Bentuk-bentuk dari *vortex generator* (Rotorex, 2015).

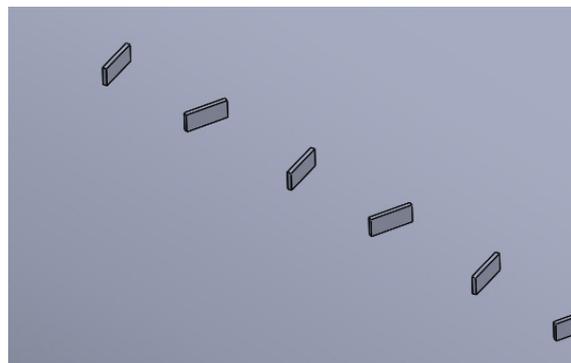
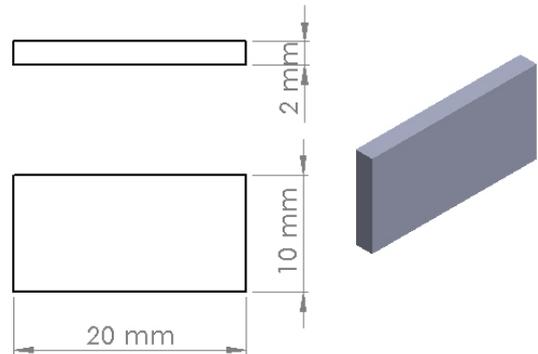
Dalam menentukan geometri ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan yaitu panjang, tinggi, sudut kemiringan, dan radius serta sudut pemasangan. Untuk sudut pemasangan acuan yang dipakai adalah arah angin sedangkan untuk yang lain bisa ditentukan sesuai kebutuhan (lihat gambar 2-8).



Gambar 2-8: Definisi *geometry VG* (Tan Kar Zhen, 2011).

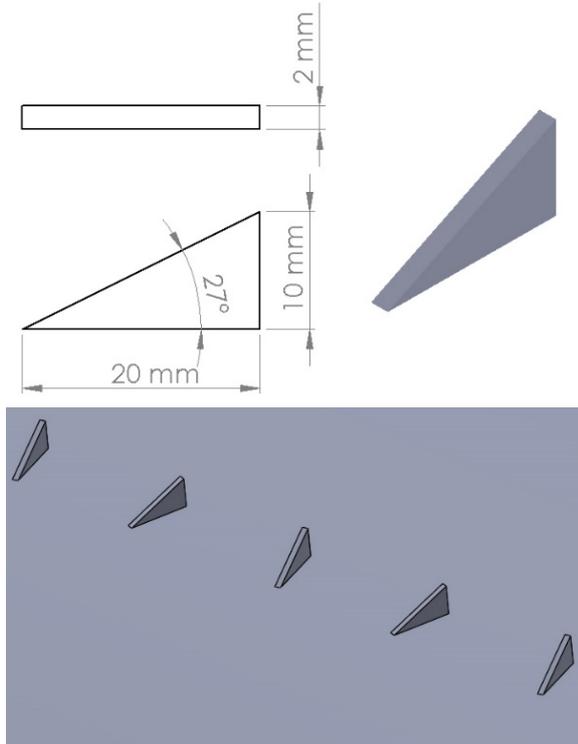
Dalam penelitian ini diambil tiga bentuk *vortex generator* sebagai kandidat untuk sayap pesawat LSU-05. Berikut geometri dari ketiga bentuk *vortex generator* tersebut

1. *Rectangular VG*



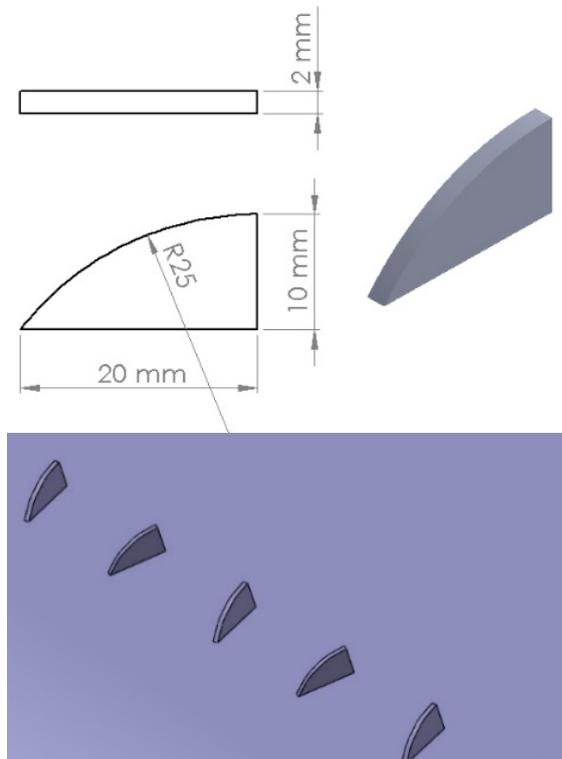
Gambar 2-9: Geometri VG *Rectangular*.

2. *Triangular VG*

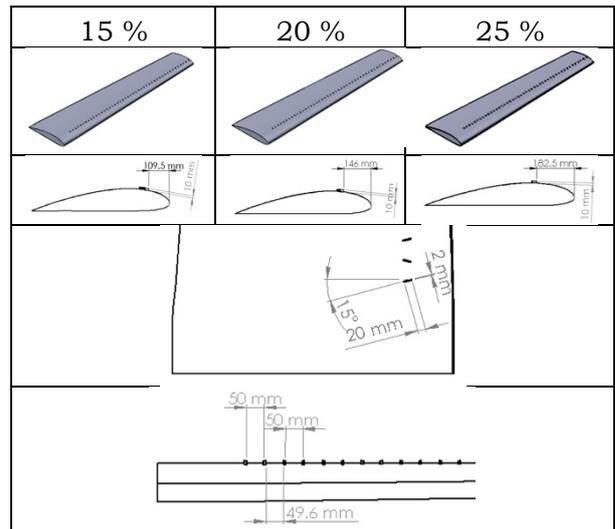


Gambar 2-10: Geometri VG *Triangular*.

3. *Gothic (mod) VG*



Gambar 2-11: Geometri VG *Gothic (mod)*.
Perbedaan posisi pemasangan



Gambar 2-12: Geometri *Vortex Generator* dengan varian posisi pasang.

Vortex generator ini akan terpasang di atas permukaan sayap dengan varian bentuk dan posisi pasang. Varian dari bentuk sudah dijelaskan di atas dan untuk posisi akan diambil tiga posisi pasang yaitu posisi 15 %, 20 %, dan 25 % dari panjang *chord* (lihat gambar 2-12).

2.2. Pemodelan Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Ansys CFX. Berikut tabel untuk simulasi

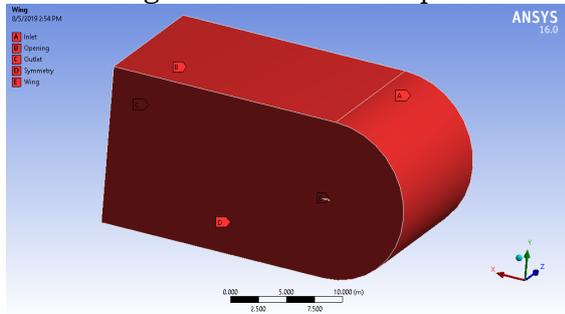
Tabel 2-2: PEMODELAN SIMULASI

Parameter	Besaran
<i>Solver</i>	CFX
Turbulen	Shear Stress
Models	Transport
Material	<i>Air ideal gas</i> (udara)
<i>Density</i>	1,225 kg/m ³
<i>Viscosity</i>	1,7894 x 10 ⁻⁵ kg/m-s
Operation	1 atm = 101325 N/m ²
Pressure	
Kondisi Batas	<i>Cartesian Velocity</i>
<i>Inlet</i>	<i>Components</i>
Kondisi Batas	<i>Wall</i>
<i>Wing</i>	
Kondisi Batas	<i>Symmetry</i>
<i>Sym</i>	

Kondisi Batas Opening	<i>operating press. and dim (0)</i>
Kondisi Batas Outlet	<i>operating press. and dim (0)</i>
Kecepatan Aliran	26 m/s ($Re = 1.27 \times 10^6$)
Sudut Serang (a)	-8°, -6°, -4°, 0°, 4°, 8°, 10°, 12°, 14°, 15°, 16°, dan 18°

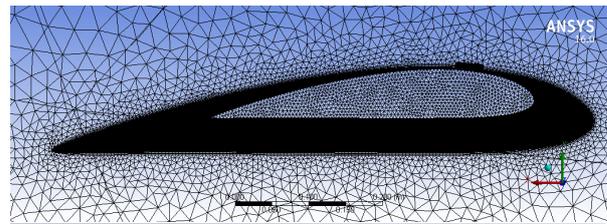
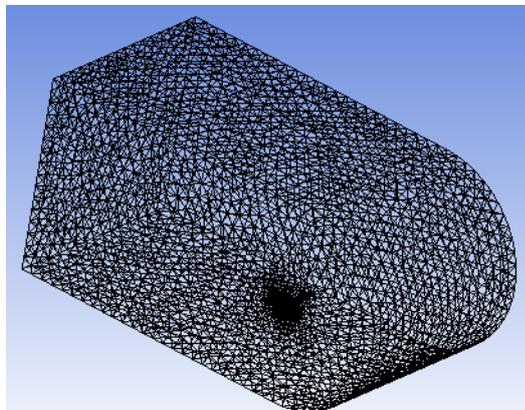
2.3. Meshing Grid

Pada proses ini geometri yang telah dibuat akan di-meshing dengan menggunakan *software meshing* (Ansys ICEM). Sebelum proses meshing dilakukan, buatlah kondisi batas yang akan mengidentifikasi dari tiap sisi.



Gambar 2-13: Setup outline mesh dan kondisi batas.

Selanjutnya dilakukan *meshing* dengan pengaturan *inflation* dan *sizing* dengan menyesuaikan dari jumlah *elements* dan *nodes* dan kemampuan *resource* yang ada (komputer)



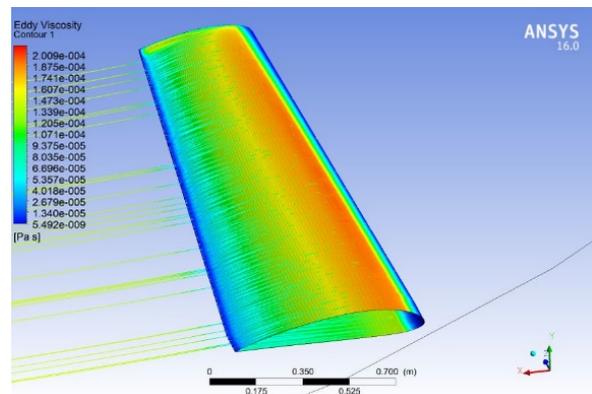
Details of "Mesh"	
+ Patch Independent Options	
+ Advanced	
+ Defeaturing	
- Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	2503085
<input type="checkbox"/> Elements	7755881
Mesh Metric Skewness	
<input type="checkbox"/> Min	1.5047e-005
<input type="checkbox"/> Max	0.93605
<input type="checkbox"/> Average	0.207
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0.12454

Gambar 2-14: Meshing grid dan statistik jumlah nodes dan elements pada sayap dan VG's.

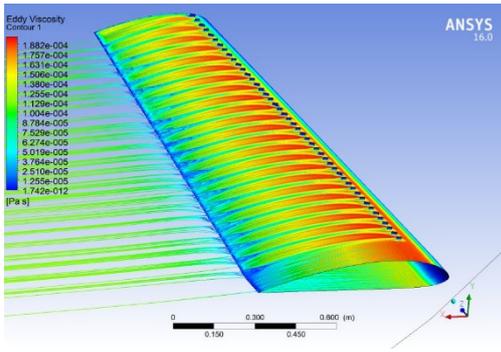
3 HASIL PEMBAHASAN

3.1. Visualisasi Aliran

Untuk menampilkan visualisasi aliran udara pada permukaan sayap, penulis hanya akan mengambil sebagian dari hasil simulasi yaitu bentuk *rectangular* diposisi pasang 20%. Visualisasi akan menampilkan distribusi *eddy viscosity* dan *pressure*.



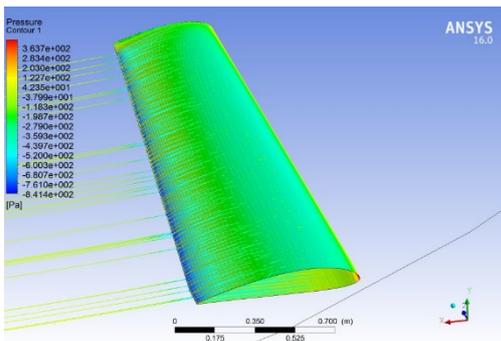
a. Sayap tanpa *vortex generator*.



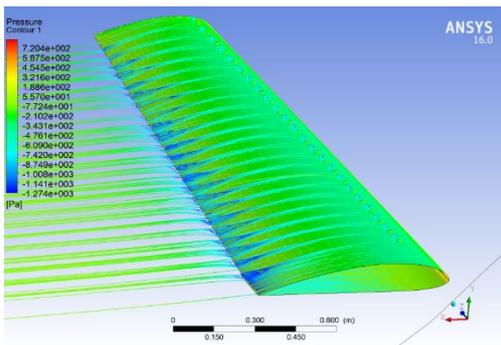
b. Sayap dengan *vortex generator*.

Gambar 3-1: Distribusi eddy viscosity di permukaan sayap untuk sayap dengan dan tanpa vortex generator pada AoA 0° (ANSYS, 2015).

Pada gambar 3-1 menunjukkan visualisasi aliran udara untuk distribusi *eddy viscosity* pada sudut serang 0°. Gambar 3-1.a untuk sayap tanpa *vortex generator* dan gambar 3-1.b untuk sayap dengan *vortex generator*. Terlihat pada gambar perubahan distribusi *eddy viscosity* dengan adanya *vortex generator*, yang awalnya warna orange berubah jadi kuning. Itu menandakan adanya separasi kecil pada permukaan sayap di belakang *vortex generator*.



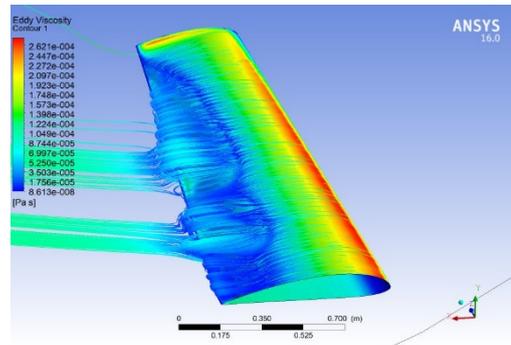
a. Sayap tanpa *vortex generator*.



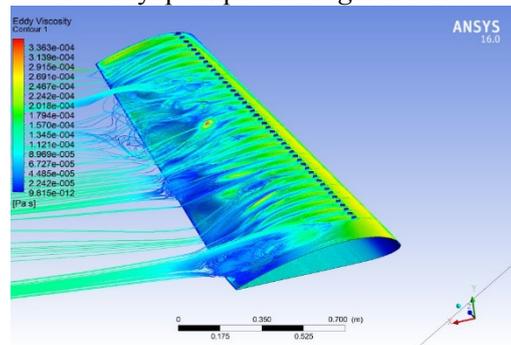
b. Sayap dengan *vortex generator*.

Gambar 3-2: Distribusi pressure di permukaan sayap untuk sayap dengan dan tanpa *vortex generator* pada AoA 0° (ANSYS, 2015).

Pada gambar 3-2 menunjukkan visualisasi aliran udara untuk distribusi *pressure* pada sudut serang 0°. Gambar 3-2.a untuk sayap tanpa *vortex generator* dan gambar 3-2.b untuk sayap dengan *vortex generator*. Distribusi *pressure* yang terlihat tidak terlalu berubah signifikan tetapi terlihat separasi pada sayap dengan *vortex generator* di daerah *trailing edge*.



a. Sayap tanpa *vortex generator*.

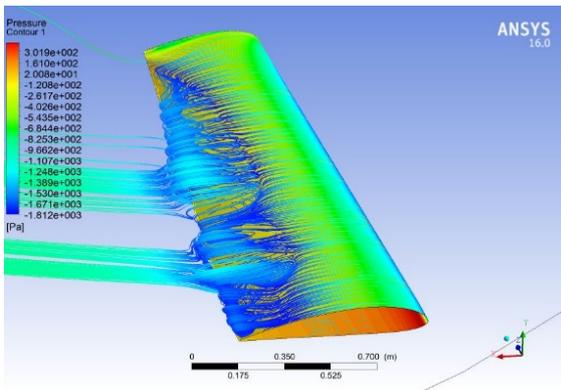


b. Sayap dengan *vortex generator*.

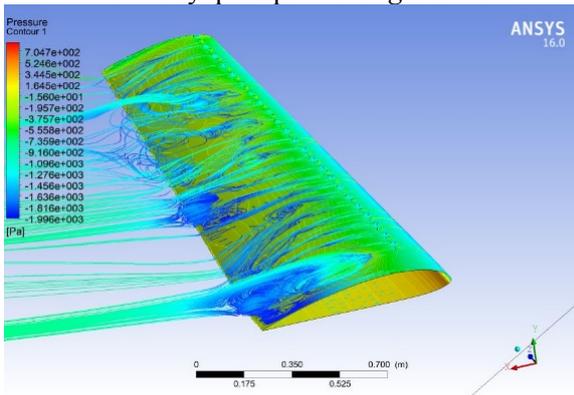
Gambar 3-3: Distribusi eddy viscosity di permukaan sayap untuk sayap dengan dan tanpa *vortex generator* pada AoA 14° (ANSYS, 2015).

Pada gambar 3-3 menunjukkan visualisasi aliran udara untuk distribusi *eddy viscosity* pada sudut serang 14°. Gambar 3-3.a untuk sayap tanpa *vortex generator* dan gambar 3-3.b untuk sayap

dengan *vortex generator*. Pada sudut serang 14° terlihat distribusi *eddy viscosity* di bagian *trailing edge* sangat berbeda dimana untuk sayap saja separasi terjadi dibagian tengah sedangkan dengan adanya *vortex generator* hampir disetiap seksion sepanjang sayap.



a. Sayap tanpa *vortex generator*.



b. Sayap dengan *vortex generator*.

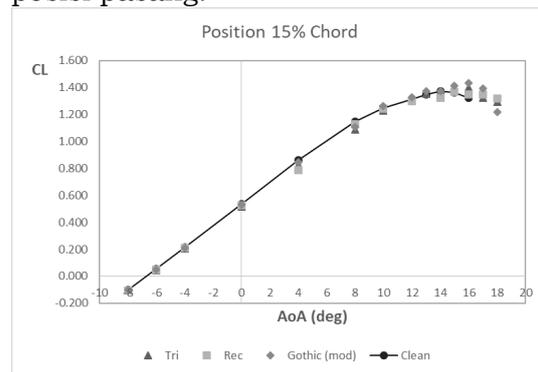
Gambar 3-4: Distribusi *pressure* di permukaan sayap untuk sayap dengan dan tanpa *vortex generator* pada AoA 14° (ANSYS, 2015).

Pada gambar 3-4 menunjukkan visualisasi aliran udara untuk distribusi *pressure* pada sudut serang 14° . Gambar 3-4.a untuk sayap tanpa *vortex generator* dan gambar 3-4.b untuk sayap dengan *vortex generator*. Untuk distribusi *pressure* juga terjadi sama dengan distribusi *eddy viscosity* bahwa separasi terjadi dibagian tengah sedangkan

dengan adanya *vortex generator* hampir disetiap seksion sepanjang sayap.

3.2. Perbedaan Bentuk Vortex Generator

Hasil simulasi untuk perbedaan bentuk *vortex generator* akan ditampilkan dalam bentuk kurva koefisien gaya angkat dan hambat terhadap perubahan sudut serang pada kecepatan 26 m/s dan dengan perbedaan posisi pasang.

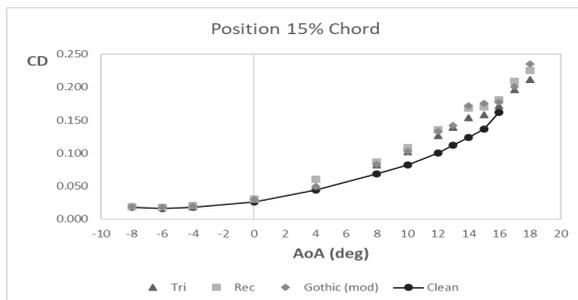


Gambar 3-7: Kurva CL terhadap sudut serang pada posisi pasang 15 % chord

Pada gambar 3-7 terlihat perbandingan kurva CL terhadap sudut serang pada posisi pasang 15% *chord*, dimana kurva CL bentuk *vortex generator* dibandingkan dengan sayap tanpa *vortex generator* (*clean*). Untuk sayap tanpa *vortex generator* terlihat CL_{max} berada pada sudut serang 14° sedangkan untuk beda bentuk *vortex generator* terdapat perbedaan. Untuk bentuk *triangular* CL_{max} ada di sudut serang 16° , *rectangular* di 15° , dan *gothic* (*mod*) di 16° . Itu artinya dengan adanya *vortex generator* dapat menunda separasi sehingga sudut *stall* bertambah 1° sampai 2° . Dari hasil simulasi untuk posisi 15% *chord* ini, bahwa kondisi terbaik adalah pada bentuk *gothic* (*mod*) karena memiliki nilai CL_{max} yang paling tinggi.

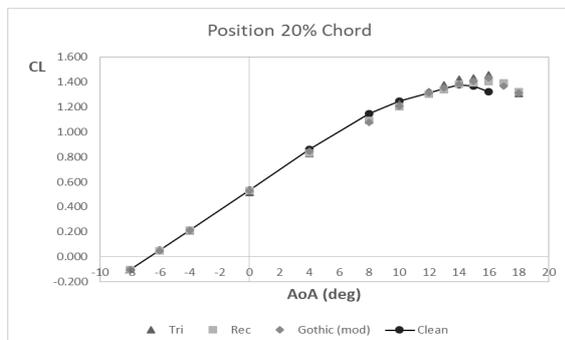
Tabel 3-2: PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN BEDA BENTUK VORTEX GENERATOR PADA POSISI 15 %

	Clean	Rect.	Tri.	Gothic (mod)
CL_0	0.5370	0.5264	0.5138	0.5309
α	14	15	16	16
CL_{max}	1.3749	1.3681	1.3990	1.4354



Gambar 3-8: Kurva CD terhadap sudut serang pada posisi pasang 15 % chord

Untuk kurva CD terhadap sudut serang pada posisi 15 % dapat dilihat pada gambar 3-8. Dari gambar terlihat perbandingan antara sayap saja (clean) dengan beda bentuk *vortex generator* cukup signifikan khususnya mulai dari sudut serang 8°, nilai CD semakin besar. Pada sudut serang 14° dan 15° untuk beda bentuk *vortex generator* nilai CD cukup aneh. Itu terjadi akibat *meshing* pada model atau iterasi yang kurang.

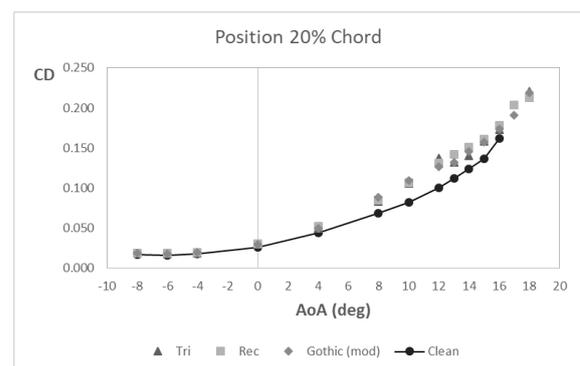


Gambar 3-9: Kurva CL terhadap sudut serang pada posisi pasang 20 % chord.

Pada gambar 3-9 terlihat perbandingan kurva CL terhadap sudut serang pada posisi pasang 20% *chord*, dimana kurva CL bentuk *vortex generator* dibandingkan dengan sayap tanpa *vortex generator*. Untuk sayap tanpa *vortex generator* terlihat CL_{max} berada pada sudut serang 14° sedangkan untuk beda bentuk *vortex generator* terdapat kesamaan yaitu CL_{max} ada di sudut serang 16°. Itu artinya dengan adanya *vortex generator* dapat menunda separasi sehingga sudut *stall* bertambah 2°. Dari hasil simulasi untuk posisi 20% *chord* ini, bahwa kondisi terbaik adalah pada bentuk *triangular* karena memiliki nilai CL_{max} yang paling tinggi.

Tabel 3-3: PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN BEDA BENTUK VORTEX GENERATOR PADA POSISI 20 %.

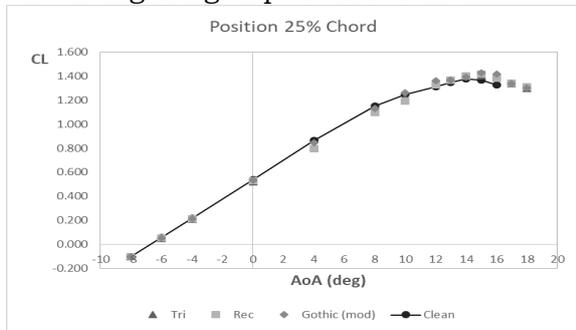
	Clean	Rect.	Tri.	Gothic (mod)
CL_0	0.5370	0.5295	0.5164	0.5324
α	14	16	16	16
CL_{max}	1.3749	1.4044	1.4553	1.4336



Gambar 3-10: Kurva CD terhadap sudut serang pada posisi pasang 20 % chord.

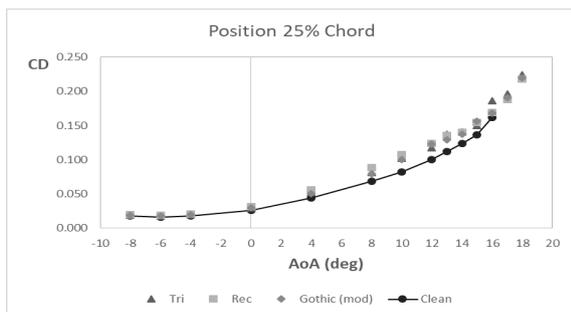
Untuk kurva CD terhadap sudut serang pada posisi 20 % dapat dilihat pada gambar 3-10. Dari gambar terlihat

perbandingan antara sayap saja (clean) dengan beda bentuk *vortex generator* cukup signifikan khususnya mulai dari sudut serang 8°, nilai CD semakin besar. Pada sudut serang 12° untuk bentuk *vortex generator* triangular nilai CD cukup aneh karena nilainya lebih besar dibanding dengan pada sudut 13°.



Gambar 3-11: Kurva CL terhadap sudut serang pada posisi pasang 25 % chord

Pada gambar 3-11 terlihat perbandingan kurva CL terhadap sudut serang pada posisi pasang 25% *chord*, dimana kurva CL bentuk *vortex generator* dibandingkan dengan sayap tanpa *vortex generator*. Untuk sayap tanpa *vortex generator* terlihat CL_{max} berada pada sudut serang 14° sedangkan untuk beda bentuk *vortex generator* terdapat kesamaan yaitu CL_{max} ada di sudut serang 15°. Itu artinya dengan adanya *vortex generator* dapat menunda separasi sehingga sudut *stall* bertambah 1°. Dari hasil simulasi untuk posisi 25% *chord* ini, bahwa kondisi terbaik adalah pada bentuk *gothic (mod)* karena memiliki nilai CL_{max} yang paling tinggi



Gambar 3-12: Kurva CD terhadap sudut serang pada posisi pasang 25 % chord

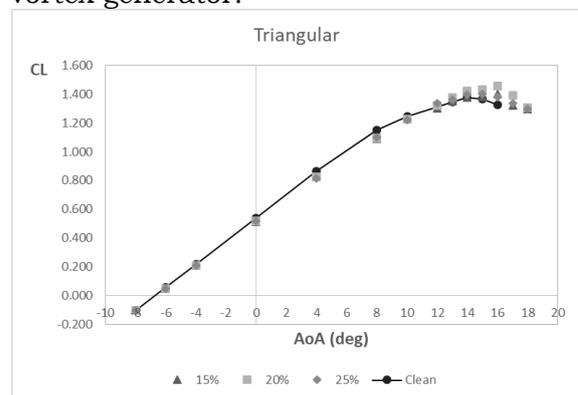
Tabel 3-4: PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN BEDA BENTUK VORTEX GENERATOR PADA POSISI 25 %.

	Clean	Rect.	Tri.	Gothic (mod)
CL_0	0.5370	0.5281	0.5181	0.5359
α	14	15	15	15
CL_{max}	1.3749	1.4186	1.4015	1.4267

Untuk kurva CD terhadap sudut serang pada posisi 25 % dapat dilihat pada gambar 3-12. Dari gambar terlihat perbandingan antara sayap saja (clean) dengan beda bentuk *vortex generator* cukup signifikan khususnya mulai dari sudut serang 8°, nilai CD semakin besar. Pada posisi 25% *trend* dari beda bentuk *vortex generator* sudah sesuai dengan *trend* sayap saja.

3.3. Perbedaan Posisi Pasang Vortex Generator

Berikut merupakan hasil kurva untuk perbedaan posisi pasang dari vortex generator.

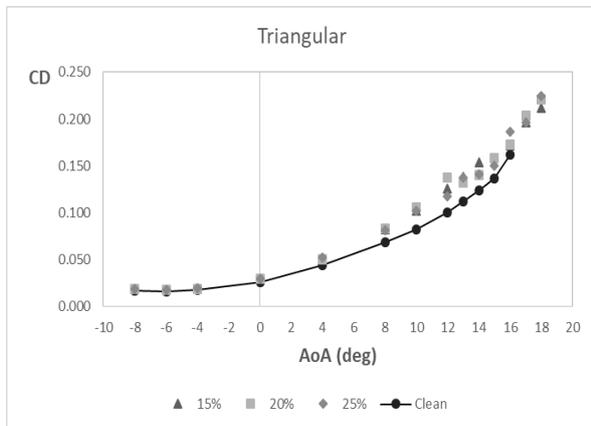


Gambar 3-13: Kurva CL terhadap sudut serang pada bentuk *vortex generator* triangular.

Gambar 3-13 menunjukkan kurva CL terhadap sudut serang dengan beda posisi pasang *vortex generator*. Untuk bentuk *vortex generator triangular* ini nilai CL_{max} terbesar berada pada posisi pasang 20% dengan sudut *stall* 16° dan terkecil di posisi pasang 15% dengan sudut *stall* 16°. Dari hasil simulasi untuk bentuk *triangular* ini, bahwa kondisi terbaik adalah pada posisi 20% *chord* karena memiliki nilai CL_{max} yang paling tinggi.

Tabel 3-5: PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN BEDA POSISI PASANG PADA BENTUK *VORTEX GENERATOR TRIANGULAR*.

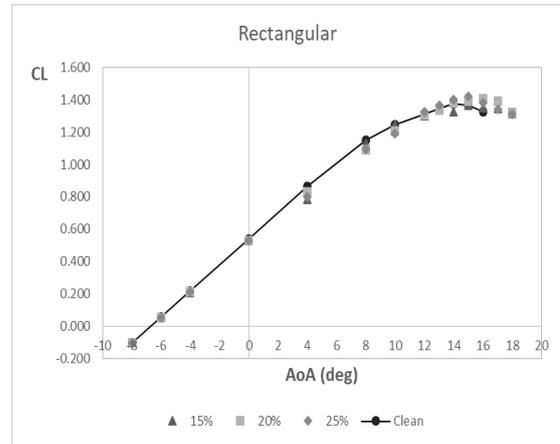
	Clean	15%	20%	25%
CL_0	0.5370	0.5138	0.5164	0.5181
α	14	16	16	15
CL_{max}	1.3749	1.3990	1.4553	1.4015



Gambar 3-14: Kurva CD terhadap sudut serang pada bentuk *vortex generator triangular*.

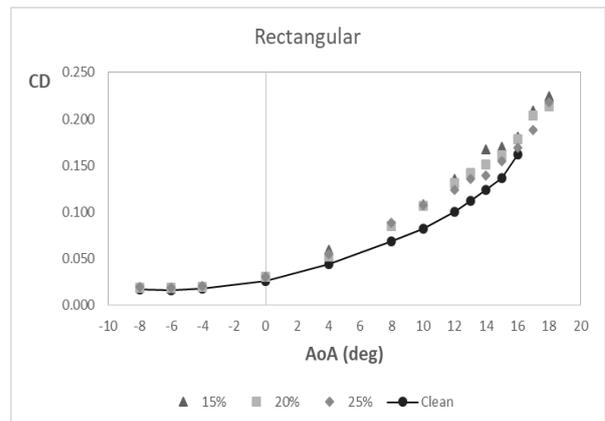
Dari gambar 3-14 menunjukkan kurva CD terhadap sudut serang pada posisi bentuk *vortex generator triangular* dengan beda posisi pasang. Seperti analisa CD sebelumnya terlihat perbandingan antara sayap saja (clean) dengan beda bentuk *vortex generator* cukup signifikan khususnya mulai dari

sudut serang 8°, nilai CD semakin besar. Untuk bentuk *vortex generator triangular* ini terdapat nilai CD yang lebih besar dari sudut serang di atasnya yaitu pada sudut 12° diposisi pasang 20% tetapi *trend* sudah sesuai dengan *trend* sayap saja.



Gambar 3-15: Kurva CL terhadap sudut serang pada bentuk *vortex generator rectangular*

Gambar 3-15 menunjukkan kurva CL terhadap sudut serang dengan beda posisi pasang *vortex generator*. Untuk bentuk *vortex generator rectangular* ini nilai CL_{max} terbesar berada pada posisi pasang 25% dengan sudut *stall* 15° dan terkecil di posisi pasang 15% dengan sudut *stall* 15°. Dari hasil simulasi untuk bentuk *rectangular* ini, bahwa kondisi terbaik adalah pada posisi 25% *chord* karena memiliki nilai CL_{max} yang paling tinggi.

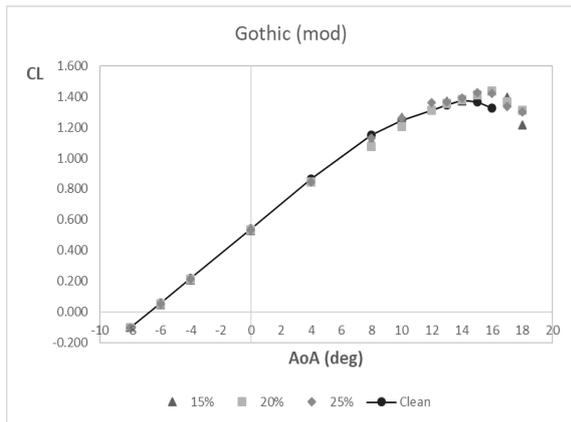


Gambar 3-16: Kurva CD terhadap sudut serang pada bentuk vortex generator rectangular

Tabel 3-6: PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN BEDA POSISI PASANG PADA BENTUK VORTEX GENERATOR RECTANGULAR.

	Clean	15%	20%	25%
CL ₀	0.5370	0.5264	0.5295	0.5281
α	14	15	16	15
CL _{max}	1.3749	1.3681	1.4044	1.4186

Dari gambar 3-16 menunjukkan kurva CD terhadap sudut serang pada posisi bentuk vortex generator rectangular dengan beda posisi pasang. Seperti analisa CD sebelumnya terlihat perbandingan antara sayap saja (clean) dengan beda bentuk vortex generator cukup signifikan khususnya mulai dari sudut serang 8°, nilai CD semakin besar. Untuk bentuk vortex generator rectangular ini trend sudah sesuai dengan trend sayap saja.



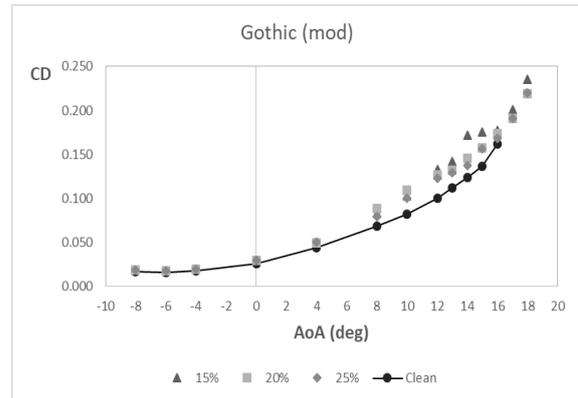
Gambar 3-17: Kurva CL terhadap sudut serang pada bentuk vortex generator gothic (mod).

Gambar 3-17 menunjukkan kurva CL terhadap sudut serang dengan beda posisi pasang vortex generator. Untuk

bentuk vortex generator triangular ini nilai CL_{max} terbesar berada pada posisi pasang 15% dengan sudut stall 16° dan terkecil di posisi pasang 25% dengan sudut stall 15°. Dari hasil simulasi untuk bentuk gothic (mod) ini, bahwa kondisi terbaik adalah pada posisi 15% chord karena memiliki nilai CL_{max} yang paling tinggi.

Tabel 3-7: PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN BEDA POSISI PASANG PADA BENTUK VORTEX GENERATOR GOTHIC (mod).

	Clean	15%	20%	25%
CL ₀	0.5370	0.5309	0.5324	0.5359
α	14	16	16	15
CL _{max}	1.3749	1.4354	1.4336	1.4267



Gambar 3-18. Kurva CD terhadap sudut serang pada bentuk vortex generator gothic (mod).

Dari gambar 3-18 menunjukkan kurva CD terhadap sudut serang pada posisi bentuk vortex generator gothic (mod) dengan beda posisi pasang. Seperti analisa CD sebelumnya terlihat perbandingan antara sayap saja (clean) dengan beda bentuk vortex generator cukup signifikan khususnya mulai dari sudut serang 8°, nilai CD semakin besar. Untuk bentuk vortex generator gothic (mod) ini terdapat nilai CD yang lebih besar dari sudut serang di atasnya yaitu

pada sudut 14° posisi pasang 15% tetapi *trend* sudah sesuai dengan *trend* sayap saja.

4 KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa maka dapat disimpulkan dalam beberapa hal :

1. Pemilihan beda bentuk *vortex generator*, bentuk *triangular* memiliki nilai CL_{max} yang lebih besar dibanding bentuk *rectangular* dan *gothic* yaitu 1.4553.
2. Pemilihan posisi pasang *vortex generator*, posisi pasang yang memiliki CL_{max} yang lebih besar yaitu di posisi pasang 20%.
3. Bentuk *vortex generator* yang cocok dipasang pada sayap pesawat LSU-05 adalah bentuk *triangular* di posisi pasang 20%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Bpk. Gunawan Setyo Putra dan Agus Aribowo yang telah memberi izin untuk fasilitas dalam melakukan penelitian dan teman-teman di lab aerodinamika yang telah membantu dalam proses penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- aerospaceweb.org*. Oktober 15, 2010. <http://www.aerospaceweb.org/question/aerodynamics/q0228.shtml> (accessed July 2019).
- ANSYS. *Software Package, Ver 16.0*. 2015.
- D.C., Potter M. and Wiggert. *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill (USA), 2008.
- F.R., Menter. "Review of The Shear-Stress Transport Turbulence Model Experience From A Industrial Perspective." *Int. J. of Comp. Fluid Dynamics* 277-303 (2009): 23(1-4).

- F.R., Menter. "Zonal Two Equation k-Turbulence Model For Aerodynamic Flows." *AIAA Journal* 93-2906 (1993).
- G.Vasantha Kumar, K.Sathiya Narayanan, S.K.Aravindhkumar, and S.KishoreKumar. "Comparative Analysis of Various Vortex Generators for a NACA 0012 Aerofoil." *International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology (IJISSET)*, 2016: 3-6.
- Gamiz, Unai Fernandez. *Fluid Dynamic Characterization of Vortex Generators and Two-dimensional Turbulent Wakes*. Polytechnic University of Catalonia (UPC), September 2013.
- Herdiana, Awal Romadhon dan Dana. "Analisis Cfd Karakteristik Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Lsu-05 Dengan Penambahan Vortex Generator." *Jurnal Teknologi Dirgantara Vol. 15 No.1*, 2017: 45-57.
- Jr., Anderson J.D. *Computational Fluid Dynamics, The Basics with Applications*. 1995: McGraw-Hill, n.d.
- N.N., Sørensen. *General Purpose Flow Solver Applied To Flow Over Hills*. Technical report risoe-r-827(en), Risoe National Laboratory,, 1995.
- Prabowo, Atik Bintoro dan Gunawan Setyo. *Penelitian dan Kajian Teknologi Pesawat Terbang*. Jakarta: Indonesia Book Project (IBP), 2013.
- Pramutadi, A. M. *Laporan Kemajuan Class II UAV + part 2*. Laporan Teknis., Bogor: LAPAN, 2013.
- Raykowski, Kerri A. "Optimization of A Vortex Generator Configuration for A 1/4-Scale Piper Cherokee Wing." Florida: UMI Microform EP31919, Copyright 2011 by ProQuest LLC, 1999.

- Romadhon, Awalu. "Analisis Karakteristik Aerodinamika Pengaruh Penambahan Vortex Generator Pada Sayap Pesawat Tanpa Awak LSU-05 Dengan Simulasi CFD (Skripsi)." Bandung: Universitas Nurtanio Bandung, 2016.
- Rooij, Timmer W.A. and R.P.J.O.M. van. "Roughness Sensitivity Considerations for Thick Rotor Blade Airfoils." *Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the ASME*, 2003: 125(4): 468-478.
- Rotorex. *Flitetest*. Flitetest. 03 12, 2015. <https://www.flitetest.com/articles/vortex-generator-design-tips-and-experimentation> (accessed 12 10, 2018).
- Skopiński, Jacek. *Aero Service*. 2010. <http://www.vortex-generators.com/contact.html> (accessed Spetember 23, 2019).
- SOLIDWORKS. *Software Package, Ver 2015*. 2015.
- Tan Kar Zhen, Muhammaed Zubair, Kamarul Arifin Ahmad. "Experimental and Numerical Investigation of The Effects of Passive Vortex Generators on Aludra UAV Performance." *Chinese Journal of Aeronautics*, no. 24 (2011): 577-583.

