

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN TRIANGULAR DAN TRAPEZOIDAL VORTEX GENERATOR TERHADAP ALIRAN UDARA PADA TAIL BOOM HELIKOPTER BO 105

Ivan Guntara Aji Saputra

Politeknik Penerbangan Surabaya, Surabaya

Jl. Jemur Andayani I/73, Surabaya 60236

Email: ivanguntara6@gmail.com

Abstrak

Tail boom adalah salah satu bagian struktur belakang helikopter yang berbentuk silinder. *Tail boom* menerima pengaruh aliran udara dari hasil putaran *rotor blade* untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*). Dengan bagian *tail boom* yang berbentuk silinder, dapat menyebabkan terjadinya titik separasi pada aliran udara yang melewati bagian *tail boom* tersebut. Sehingga diberikan pengembangan sedemikian rupa agar *tail boom* tidak menghambat performa aerodinamik dalam menghasilkan gaya angkat (*lift*). Dalam penelitian ini, analisa karakteristik aerodinamika dilakukan dengan mengkaji pendistribusian aliran udara di sepanjang bagian *tail boom* helikopter untuk mengetahui distribusi aliran dan gaya yang terjadi di sekitar *tail boom* helikopter. Analisis dilakukan dengan cara simulasi aliran udara yang mengalir pada *tail boom* BO 105 menggunakan *software* ANSYS. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui perbedaan karakteristik penggunaan *vortex generator* dengan membandingkan beberapa variasi bentuk *vortex generator* pada *tail boom* BO 105. Metode penelitian yang digunakan adalah metode analisis simulasi pada benda uji *tail boom* BO 105 yang diberi variasi bentuk *vortex generator* yang berbeda yaitu *triangular vortex generator* dan *trapezoidal vortex generator* dengan panjang 10 mm, tinggi 5 mm, tebal 1 mm, pemasangan *counter rotating* sudut 15°, jarak sepasang *vortex generator* 45 mm, jarak antar sepasang *vortex generator* 100 mm dan dipasang pada sisi *tail boom* pada sudut 30° dari garis tegak silinder *tail boom*. Instrumen penelitian berupa data visualisasi aliran udara pada penampang *tail boom* yang berupa kontur tekanan dan garis kecepatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *tail boom* BO 105 dengan menggunakan *trapezoidal vortex generator* memiliki hasil visualisasi kontur tekanan yang lebih rendah pada permukaan *tail boom* dibandingkan dengan objek lainnya, juga memiliki *velocity streamline* yang lebih baik pada aliran dan sebarannya. Sehingga pada penelitian ini menghasilkan *tail boom* dengan penggunaan *trapezoidal vortex generator* yang paling efisien dan efektif untuk digunakan.

Kata Kunci: Aerodinamika, Helikopter BO 105, *Tail Boom*, *Vortex Generator*, ANSYS.

Abstract

The tail boom is a cylindrical part of the rear structure of the helicopter. The tail boom receives the influence of the air flow from the rotation of the rotor blade to produce lift. With the cylindrical shape of the tail boom, it can cause a separation point in the air flow that passes through the tail boom. So that the development is given in such a way that the tail boom does not hamper aerodynamic performance in generating lift (lift). In this study, the analysis of aerodynamic characteristics was carried out by examining the distribution of air flow along the tail boom of the helicopter to determine the distribution of flow and force around the helicopter's tail boom. The analysis was carried out by simulating the airflow flowing in the Tail Boom BO 105 using ANSYS software. The purpose of this analysis is to determine the differences in the characteristics of the use of the vortex

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2021

ISSN : 2548-8112

generator by comparing several variations in the shape of the vortex generator on the BO 105 tail boom.

The research method used is a simulation analysis method on the tail boom BO 105 test object which is given a variety of different vortex generator shapes, namely triangular vortex generator and trapezoidal vortex generator with a length of 10 mm, height 5 mm, thickness 1 mm, installation of a counter rotating angle of 15°, the distance between a pair of vortex generators is 45 mm, the distance between a pair of vortex generators is 100 mm and is mounted on the tail boom side at an angle of 30° from the tail boom cylinder vertical line. The research instrument is in the form of visualization data of air flow on the tail boom in the form of pressure contours and velocity lines.

The results showed that the tail boom BO 105 using a trapezoidal vortex generator has a lower pressure contour visualization on the tail boom surface compared to other objects, also has a better velocity streamline in its flow and distribution. So that in this study, the tail boom using the trapezoidal vortex generator was the most efficient and effective to use.

Keywords: Aerodynamics, Helicopter BO 105, Tail Boom, Vortex Generator, ANSYS.

PENDAHULUAN

Helikopter menghasilkan gaya *lift* dari aerodinamik yang dihasilkan dari putaran *main rotor blade*. Helikopter tersusun dari beberapa struktur, salah satunya yaitu tail boom sebagai penghubung antara struktur *cockpit* dengan *tail rotor* yang berbentuk silinder. Sesuai dengan teori *bluff body*, pada sebuah bola ataupun silinder yang dipengaruhi adanya gesekan permukaan (*skin friction*) yang akan mempengaruhi pola aliran di sekitar permukaan dengan menghasilkan terjadinya separasi aliran.

Separasi aliran ini didefinisikan sebagai aliran yang akan melepaskan diri dari permukaan benda pada sebuah titik yang disebut titik separasi. Separasi aliran ini akan menghasilkan area *wake* yang juga dipengaruhi oleh adanya *adverse pressure gradient* yang menyebabkan aliran melambat yang akhirnya kehilangan momentum dan terjadi separasi aliran. Dari suatu permasalahan tersebut dapat dicegah dengan memberikan penggunaan aksesoris aerodinamis, yaitu *vortex generator*. *Vortex generator* merupakan salah satu perangkat aerodinamis yang berbentuk menyerupai sirip

dipasang pada permukaan suatu benda untuk mempercepat transisi dari *laminar boundary layer* menjadi *turbulent boundary layer*. Hal tersebut digunakan untuk dapat menunda terjadinya separasi aliran pada suatu permukaan benda [1].

Dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi aliran udara yang melewati struktur tail boom menggunakan bantuan *software* ANSYS untuk dapat mengetahui aliran yang terjadi pada tail boom helikopter dan efek dari aplikasi *vortex generator*. *Software* ANSYS dapat membantu melakukan simulasi secara terintegrasi sesuai dengan pengaturan yang diberikan yang akan menghasilkan visualisasi aliran dalam bentuk *pressure contour* dan *velocity streamline*. Dengan harapan dihasilkan performa aerodinamik yang lebih baik pada tail boom setelah diberikan penambahan *vortex generator* dibandingkan dengan tanpa penggunaan *vortex generator*.

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Wijaya (2015) adalah studi numerik control aliran sekunder *airfoil* NASA LS-0417, penambahan *vortex generator* dipasang di dekat *endwall*. *Vortex generator* berupa pelat

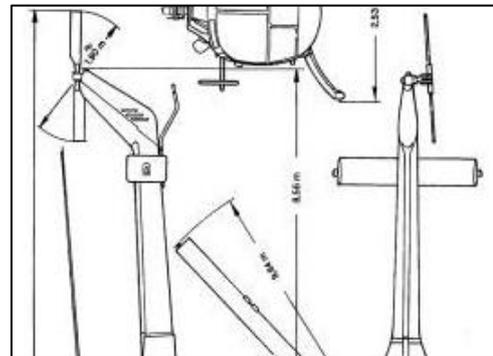
datar diuji dengan menggunakan kecepatan aliran 13 m/s dan 18 m/s, dengan sudut serang 0°, 5°, 8°, 10°, 13°, 15°, 17°, dan 20°. Hasil yang didapatkan, yaitu paling efektif pada sudut 13°, dengan nilai CL meningkat sekitar 3,2% dan CD berkurang sekitar 3,2% [2].

Lillahulhaq (2016) melakukan studi eksperimen dan numerik optimasi posisi *vortex generator* untuk mereduksi aliran sekunder di dekat *endwall* pada *airfoil british 9C7,32.5C50*. *Vortex generator* dipasang dengan variasi jarak 30%C, 35%C, 40%C, 45%C dan 50%C dengan metode *Oil Flow Visualization* menggunakan $Re = 1,14 \times 10^5$ pada sudut serang 12° dan 14°. Hasilnya disimpulkan bahwa yang paling efektif pada variasi posisi 45%C pada sudut 12° dengan meningkatkan CL sebesar 2,65% dan menurunkan CD sebesar 0,11% [3].

Azmi (2015) studi eksperimen dan numerik pengaruh penambahan *vortex generator* pada *airfoil NASA LS-0417*. *Vortex generator* dipasang dengan variasi jarak penempatan $x/c = 0,1, 0,2, 0,3, 0,4$, dan tinggi 1mm, 3mm, dan 5mm menggunakan $Re = 1,41 \times 10^5$ pada sudut serang 16° diuji dengan alat bantu *wind tunnel*. Hasilnya disimpulkan bahwa yang paling optimal didapatkan pada jarak 0,3 dan tinggi VG 1mm, menghasilkan CL/CD mengalami peningkatan sebesar 14,337% [1].

METODE
Eksperimen

Model uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah tail boom helikopter BO 105 dengan modifikasi penggunaan *vortex generator* pada sudut 30° lingkaran tail boom untuk mengetahui pengaruh penggunaan *vortex generator* dibandingkan dengan model tail boom tanpa *vortex generator*.



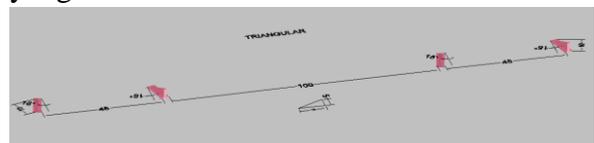
Gambar 1. Profil tail boom helikopter BO 105.

Tabel 1. Parameter Eksperimen.

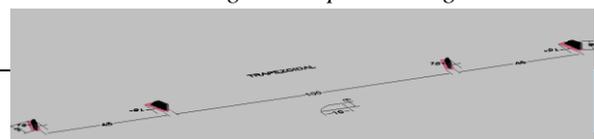
PARAMETER	EKSPERIMEN	PARAMETER	EKSPERIMEN
Shape	Triangular VG, Trapezoidal VG	Susunan	Counter-Rotating (15°, -15°)
h	5 mm	Posisi	30°
l/h	2	Densitas udara	1,225 kg/m ³
s/h	9	Viskositas udara	1,983 × 10 ⁻⁵ kg/ms
z/h	20	Kecepatan udara	10 m/s
AOI	-10°, -5°, 0°, 5°, 10°	Tekanan	1 atm

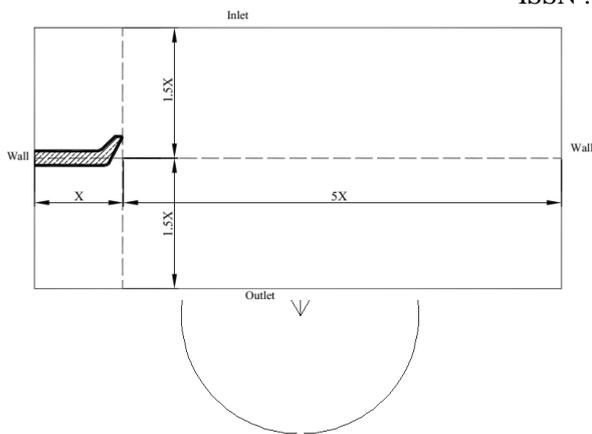
Simulasi Numerik

Penelitian numerik dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan *software* ANSYS 2020 R1 dan dengan *software* Autodesk Inventor untuk membuat model awal dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model tersebut. Hasil *post procession* juga terintegrasi dalam *software* ANSYS 2020 R1. Geometri model penelitian dibuat dalam *software* Inventor. Gambar 2, gambar 3 gambar 4 merupakan konfigurasi jarak dan posisi pemasangan VG pada model penelitian tail boom helikopter BO 105 pada simulasi yang dilakukan.

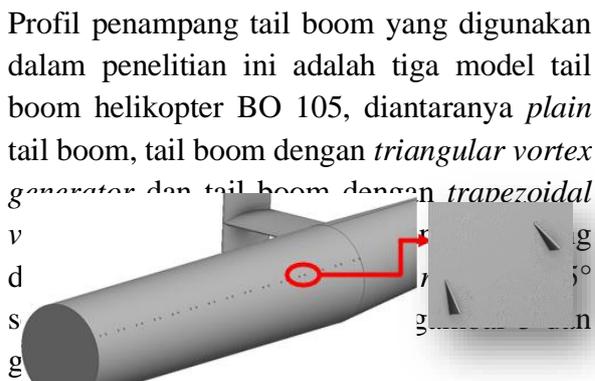


Gambar 2. Triangular shapes vortex generator.

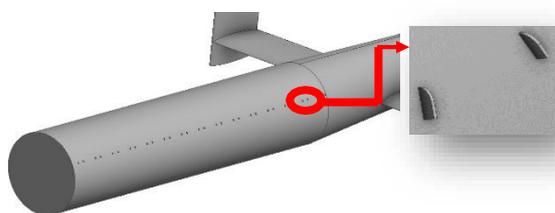




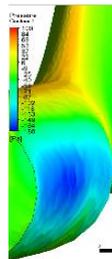
Gambar 4. Posisi pemasangan VG pada model penelitian.



Gambar 5. Pemasangan *triangular vortex generator*.



Gambar 6. Pemasangan *trapezoidal vortex generator*. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan *software ANSYS* dengan model turbulen *k-ε realizable*. Kecepatan aliran yang digunakan sebesar 10 m/s dengan $AoI = -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ$ dan 10° . Model benda uji berupa *plain tail boom*, tail boom dengan *triangular VG* dan *trapezoidal VG*. Gambar 7 merupakan domain simulasi serta kondisi batas yang digunakan dalam simulasi penelitian ini.



Gambar 7. Domain penelitian.

Dalam proses simulasi numerik yang menggunakan system program CFD harus diverifikasi, yaitu menggunakan *grid independence test*. Langkah *grid independence test* ini diperlukan untuk menentukan tingkat dan struktur grid terbaik dan paling efektif untuk membuat hasil pemodelan mendekati kondisi sebenarnya [4]. *Grid independence test* ini dibuat untuk mendapatkan jumlah pembagian grid yang konstan, yang dapat diperoleh dari hasil *grid independence* ini. Jumlah pembagian grid dibagi menjadi beberapa jenis, kemudian selisih terkecil dari setiap nilai pembagian grid jenis ini dengan membandingkan nilai C_D numerik [4]. Nilai C_D dari *grid independence* akan ditampilkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil *grid independence test* model tail boom.

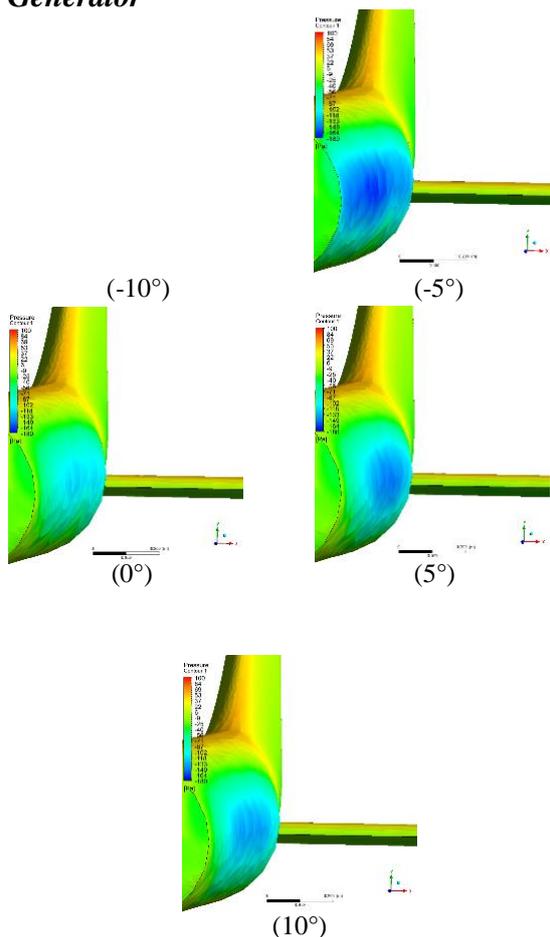
Jenis Meshing	Elements	FY	Drag (N)	Cd	Error (%)
Meshing A	302532	-488,45	488,45	0,87	-
Meshing B	427416	-444,87	444,87	0,79	8,94
Meshing C	444261	-441,03	441,03	0,79	0,87
Meshing D	467926	-438,67	438,67	0,78	0,54
Meshing E	482968	-436,41	436,41	0,78	0,75
Meshing F	504320	-455,08	455,08	0,81	4,30
Meshing G	580060	-438,89	438,89	0,78	3,35
Meshing H	650742	-432,56	432,56	0,78	0,99
Meshing I	770760	-423,48	423,48	0,76	2,56
Meshing J	984077	-432,01	432,01	0,77	2,02

Tabel 2 menunjukkan hasil *grid independence test* pada *plain tail boom*. Berdasarkan tabel 2 nilai C_D yang terkecil dan cenderung konstan terjadi pada *meshing D*. Salah satu pertimbangan untuk simulasi numerik adalah waktu dan memori yang digunakan, serta perubahan nilai C_D yang paling kecil dan konstan, sehingga *meshing* yang digunakan dalam simulasi ini adalah *meshing D*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

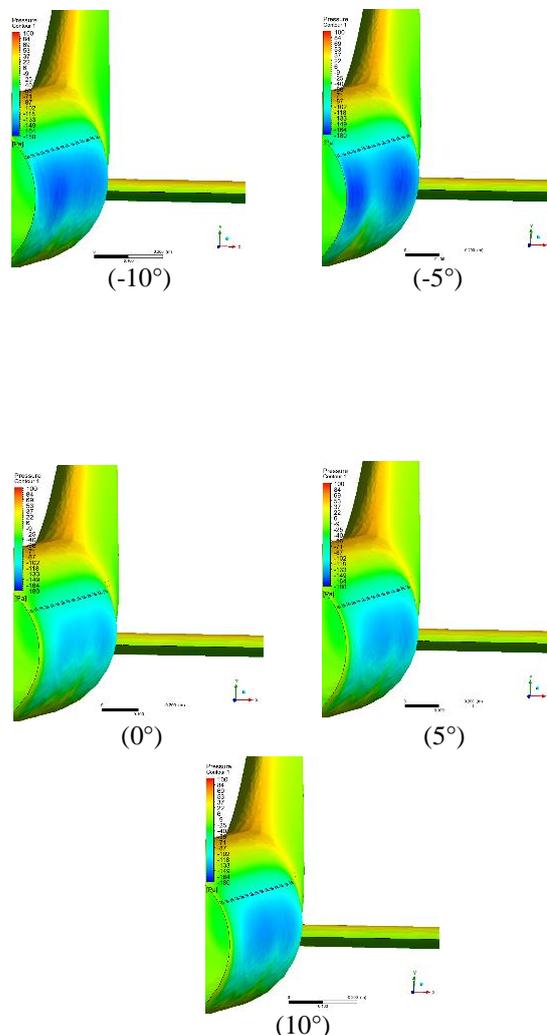
Analisis Kontur Tekanan pada *Plain Tail Boom* dan *Tail Boom* dengan *Vortex Generator*

kontur warna biru dan kembali meningkat ke arah area aliran pergi, sesuai dengan teori *bluff body*. Tetapi tekanan pada sisi samping tail boom lebih meningkat dengan perubahan sudut pergerakan ke sudut positif ditandai dengan kontur warna biru yang semakin cerah.



Gambar 8. Kontur Tekanan model penampang *plain tail boom*.

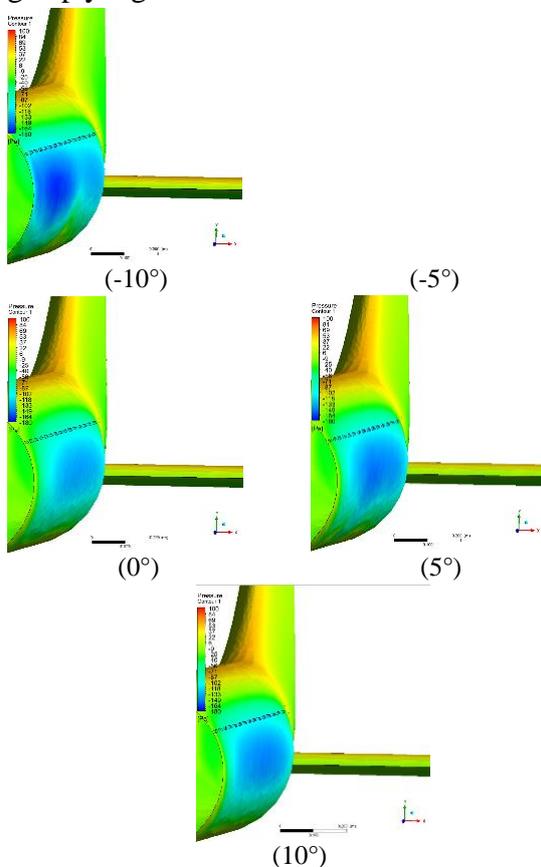
Pada gambar 8 (-10°, -5°, 0°, 5° dan 10°) menunjukkan visualisasi hasil simulasi kontur tekanan dari jenis objek penelitian *plain tail boom* dengan 5 variasi sudut AoI yang diberikan. Masing-masing hasil visualisasi menunjukkan sebaran tekanan yang terjadi di sekeliling permukaan tail boom yang beragam sesuai dengan tingkat tekanan yang terjadi, seiring dengan perubahan sudut pergerakan memberikan pengaruh perbedaan tingkat tekanan yang dihasilkan. Pada bagian atas tail boom memiliki tekanan yang paling tinggi dengan ditandai dengan kontur warna *orange* yang dihasilkan akibat dari pengaruh langsung dari aliran udara yang dihasilkan oleh *main rotor blade*. Sedangkan pada sisi samping tail boom (area sudut 90° dan 270°) memiliki sebaran tekanan yang rendah ditandai dengan



Gambar 9. Kontur Tekanan model penampang tail boom dengan penggunaan *triangular VG*.

Pada gambar 9 (-10°, -5°, 0°, 5° dan 10°) menunjukkan visualisasi hasil simulasi kontur tekanan dari jenis objek penelitian tail boom dengan penggunaan *triangular vortex generator* dengan 5 variasi sudut AoI yang diberikan. Masing-masing hasil visualisasi menunjukkan bahwa sebaran tekanan yang terjadi di sekeliling permukaan tail boom yang beragam sesuai dengan tingkat tekanan yang terjadi seiring dengan perubahan sudut yang terjadi pada model tersebut. Seiring dengan

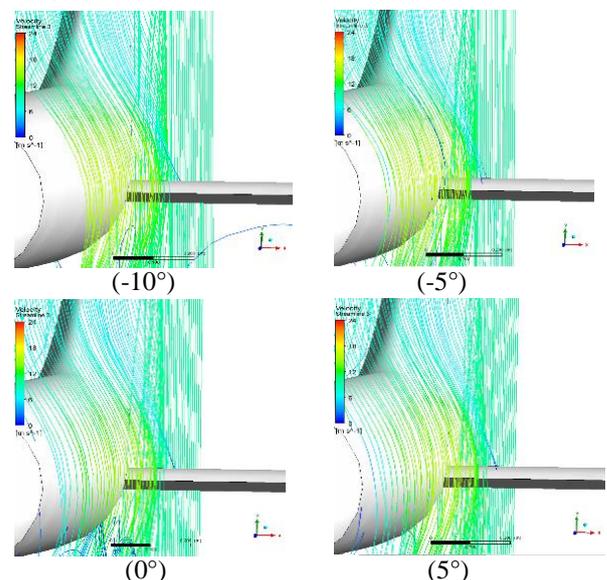
perubahan sudut pergerakan memberikan pengaruh perbedaan tingkat tekanan yang dihasilkan terutama pada bagian sisi samping tail boom. Pada bagian atas tail boom memiliki tingkat tekanan yang tinggi dengan kontur tekanan yang dihasilkan akibat pengaruh dari aliran putaran *main rotor* pada sisi samping memiliki tekanan yang rendah ditandai dengan kontur tekanan warna biru dan kembali meningkat di bagian bawah area aliran pergi, sudut -5° memiliki kontur warna biru yang lebih pekat dibandingkan variasi sudut lainnya. Model tail boom dengan penggunaan *triangular VG* menghasilkan kontur tekanan yang lebih rendah di sisi samping tail boom dibandingkan pada model *plain* tail boom ditandai dengan kontur warna gelap yang lebih merata.



Gambar 10. Kontur Tekanan model penampang tail boom dengan penggunaan *trapezoidal VG*. Pada gambar 10 (-10° , -5° , 0° , 5° dan 10°) menunjukkan visualisasi hasil simulasi kontur tekanan dari jenis objek penelitian tail boom

dengan penggunaan *trapezoidal vortex generator* dengan 5 variasi sudut AoI yang diberikan. Masing-masing hasil visualisasi menunjukkan bahwa sebaran tekanan yang terjadi di sekeliling permukaan tail boom yang beragam sesuai dengan tingkat tekanan yang terjadi seiring dengan perubahan sudut yang terjadi pada model tersebut. Seiring dengan perubahan sudut pergerakan memberikan pengaruh perbedaan tingkat tekanan yang dihasilkan terutama pada bagian sisi samping tail boom. Pada bagian atas tail boom memiliki tingkat tekanan yang tinggi ditandai dengan kontur tekanan warna *orange* yang dihasilkan akibat pengaruh langsung dari aliran putaran *main rotor blades*. Sedangkan pada sisi samping memiliki tekanan yang rendah ditandai dengan kontur tekanan warna biru dan kembali meningkat di bagian bawah area aliran pergi, sudut -5° memiliki kontur warna biru yang lebih pekat dibandingkan variasi sudut lainnya. Model tail boom dengan penggunaan *trapezoidal VG* menghasilkan kontur tekanan yang lebih rendah di sisi samping tail boom dibandingkan pada model *plain* tail boom ditandai dengan kontur warna gelap yang lebih merata.

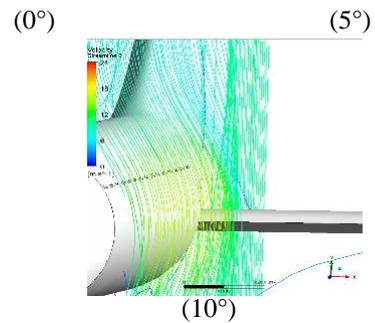
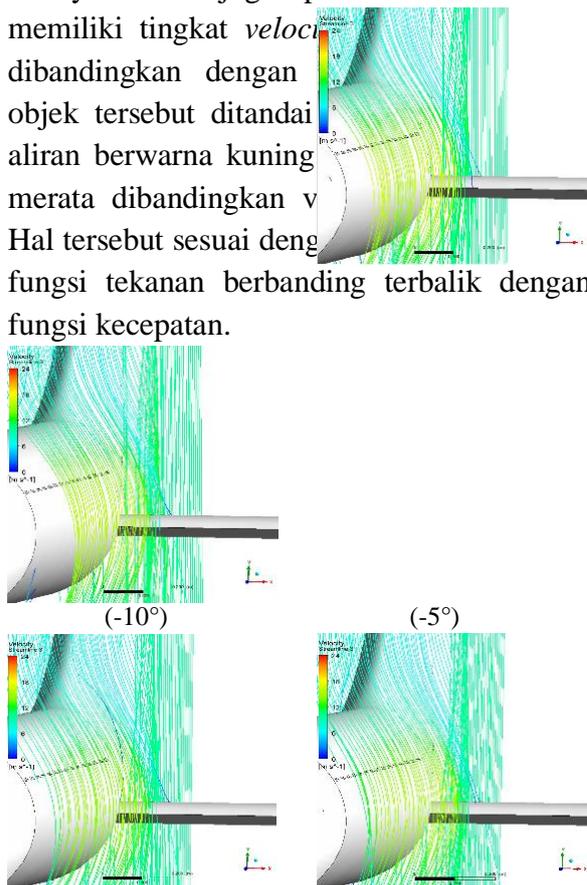
Analisis *Velocity Streamline* pada *Plain Tail Boom* dan *Tail Boom* dengan *Vortex Generator*



(10°)

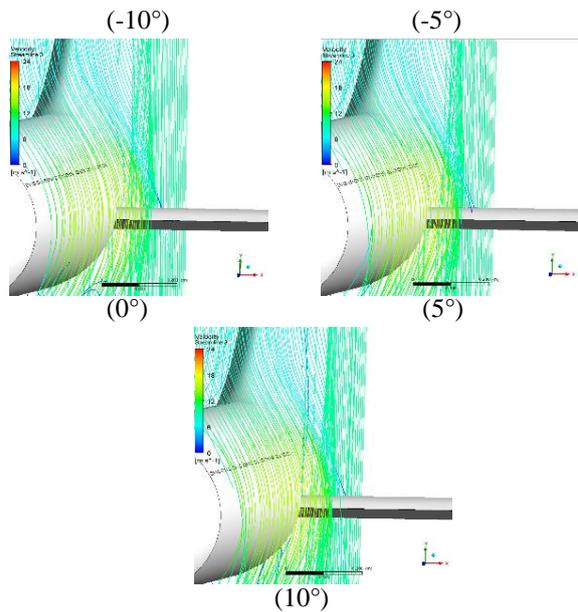
Gambar 11. *Velocity streamline* model penampang *plain* tail boom.

Pada gambar 11 (-10°, -5°, 0°, 5° dan 10°) menunjukkan visualisasi hasil simulasi *velocity streamline* dari jenis objek penelitian *plain* tail boom dengan 5 variasi sudut yang berbeda. Masing-masing hasil visualisasi menunjukkan bahwa perbedaan di antara variasi sudut yang diberikan tidak terlalu signifikan, tetapi cukup memberikan perbedaan struktur aliran dan tingkat kecepatan aliran berdasar warna aliran yang melewati objek tail boom. *Velocity streamline* yang paling efektif terjadi pada sudut -5°, ditandai dengan aliran udara yang lebih halus dan rapih dibandingkan pada variasi sudut lainnya. Dan juga pada sudut tersebut memiliki tingkat *velocity* dibandingkan dengan objek tersebut ditandai aliran berwarna kuning merata dibandingkan v Hal tersebut sesuai deng fungsi tekanan berbanding terbalik dengan fungsi kecepatan.



Gambar 12. *Velocity streamline* model penampang tail boom dengan *triangular VG*.

Pada gambar 12 (-10°, -5°, 0°, 5° dan 10°) menunjukkan visualisasi hasil simulasi *velocity streamline* dari jenis objek penelitian tail boom dengan penggunaan *triangular vortex generator* dengan 5 variasi sudut yang berbeda. Masing-masing hasil visualisasi menunjukkan bahwa perbedaan di antara variasi sudut yang diberikan tidak terlalu signifikan, tetapi cukup memberikan perbedaan struktur aliran dan tingkat kecepatan aliran berdasar warna aliran yang melewati objek tail boom. *Velocity streamline* yang paling efektif terjadi pada sudut -5°, ditandai dengan aliran udara yang lebih halus dan rapih dibandingkan pada variasi sudut lainnya. Dan juga pada sudut tersebut memiliki tingkat *velocity* yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudut lainnya pada objek tersebut ditandai dengan warna garis aliran berwarna kuning yang lebih luas dan merata dibandingkan variasi sudut lainnya. Pada model penelitian ini dengan menggunakan *triangular vortex generator* menunjukkan memiliki tingkat kecepatan aliran yang lebih baik dibandingkan dengan *plain* tail boom, ditandai dengan warna kuning yang lebih merata dan lebih luas pada setiap variasi sudut dibandingkan pada model *plain* tail boom.



Gambar 13. *Velocity streamline* model penampang tail boom dengan *trapezoidal VG*.

Pada gambar 13 (-10° , -5° , 0° , 5° dan 10°) menunjukkan visualisasi hasil simulasi *velocity streamline* dari jenis objek penelitian tail boom dengan penggunaan *trapezoidal vortex generator* dengan 5 variasi sudut yang berbeda. Masing-masing hasil visualisasi menunjukkan bahwa perbedaan di antara variasi sudut yang diberikan tidak terlalu signifikan, tetapi cukup memberikan perbedaan struktur aliran dan tingkat kecepatan aliran berdasar warna aliran yang melewati objek tail boom. *Velocity streamline* yang paling efektif terjadi pada sudut -5° , ditandai dengan aliran udara yang lebih halus dan rapih dibandingkan pada variasi sudut lainnya. Dan juga pada sudut tersebut memiliki tingkat *velocity* yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudut lainnya pada objek tersebut ditandai dengan warna garis aliran berwarna kuning yang lebih luas dan merata dibandingkan variasi sudut lainnya. Pada model penelitian ini dengan menggunakan *trapezoidal vortex generator* menunjukkan memiliki tingkat kecepatan aliran yang lebih baik dibandingkan dengan *plain* tail boom, ditandai dengan warna kuning yang lebih merata dan lebih luas pada setiap variasi sudut dibandingkan pada model *plain*

tail boom. Dan juga sedikit lebih baik dibandingkan model tail boom dengan *triangular VG* dengan ditandai warna kuning aliran yang sedikit lebih baik pada model dengan penggunaan *trapezoidal VG*.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil analisis hasil visualisasi simulasi penelitian yang telah dilakukan pada masing-masing benda uji dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Dengan adanya penggunaan *vortex generator* pada model tail boom, berpengaruh terhadap gaya yang dihasilkan pada bagian tail boom helikopter karena *vortex generator* memberikan pengaruh perubahan pola aliran baik distribusi tekanan maupun distribusi kecepatan aliran pada area di sekitar tail boom.
2. Hasil visual simulasi distribusi tekanan, *plain* tail boom memiliki sebaran tekanan yang paling tinggi pada akumulasi setiap sudutnya ditandai dengan kontur warna biru cerah pada sisi samping tail boom. Dan dengan penggunaan *trapezoidal VG* menghasilkan nilai sebaran tekanan yang paling rendah, dengan kontur warna biru yang lebih pekat dan lebih luas.
3. Hasil visual simulasi distribusi garis kecepatan, tail boom dengan penggunaan *trapezoidal VG* lebih baik dan lebih optimal dari akumulasi setiap sudutnya ditandai dengan warna kuning (kecepatan tinggi) pada garis kecepatan yang lebih merata. Untuk urutan dari visual garis kecepatan yang efektif, yaitu dengan *trapezoidal VG*, dengan *triangular VG* kemudian *plain* tail boom.
4. Dari hasil keseluruhan, ditentukan bahwa dengan penggunaan *trapezoidal VG* yang sedikit lebih efektif digunakan dibandingkan dengan model penelitian lainnya.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti memiliki beberapa evaluasi yang perlu disampaikan, diantaranya:

1. Peneliti mengharapkan agar penelitian ini dapat dilanjutkan dengan penambahan variasi maupun konfigurasi objek untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Peneliti mengharapkan agar penelitian selanjutnya yang sejenis dapat lebih dikembangkan dengan beberapa kajian terkait variasi model maupun variasi parameter untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.
3. Peneliti mengharapkan untuk pembaca dan orang yang bekerja di dunia penerbangan untuk memperhatikan kajian-kajian seperti ini, untuk mendapatkan pengembangan desain maupun model yang dapat dipertimbangkan dan diterapkan dalam lingkup produksi.

- [4] Hariyadi, S. Studi Numerik Efek Penggunaan Vortex Generator Terhadap Boundary Layer Airfoil NACA 23018. Jurnal Teknik Seminar Nasional Teknologi Terapan SV UGM. 2015; 1(7): 41.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azmi, U. Studi Eksperimen dan Numerik Pengaruh Penambahan Vortex Generator Pada Airfoil NASA LS-0417. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November; 2015.
- [2] Wijaya, R. K. Studi Eksperimen Tentang Pengendalian Aliran Sekunder Pada Airfoil NASA LS-0417 Dengan Vortex Generator Di Dekat Endwall. Thesis. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November; 2015.
- [3] Lillahulhaq, Z. Studi Eksperimen dan Numerik Optimasi Posisi Vortex Generator Untuk Mereduksi Aliran Sekunder Dekat Endwall Pada Airfoil British 9C7/32.5C50 (Studi Kasus Pada $\alpha = 12^\circ$ dan 14°). Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November; 2016.