

ANALISIS ALIRAN UDARA *FAN BLADE* PADA MESIN CFM56-7B BOEING 737-800NG DENGAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)*

YAFID EFFENDI¹, JAMALUDIN², SARIFUDIN³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang

Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang

E-Mail : yafid_effendi@yahoo.com

ABSTRAK

Pesawat terbang merupakan transportasi yang sangat diminati oleh masyarakat, karena kenyamanan dan waktu penerbangan yang sangat singkat. Pada saat ini penguasaan teknologi rancang bangun di bidang kedirgantaraan sangatlah pesat contohnya saja bermunculan berbagai jenis pesawat terbang seperti Boeing series, Airbus Series, Bombardir Series, ATR Series, bahkan dalam negeri juga mempunyai pesawat tersendiri buatan PT Dirgantara Indonesia seperti CN (235,295,2235-200), NC212, Helikopter H21 Super Puma, N219, dan lain-lain. Aliran udara melewati fan blade pada pesawat terbang jenis BOEING 737-800NG dengan mesin CFM56-7B yang dianalisa menggunakan software CFD. Pada penelitian ini memfokuskan pengaruh ketinggian terhadap kecepatan, gaya dorong, dan gaya hambat pada aliran udara melewati fan blade dengan menggunakan software CFD. Metode yang digunakan dalam penelitian ini, pengumpulan data langsung pada objek yang di analisis pada software CFD. Berdasarkan simulasi pada CFD dapat disimpulkan bahwa Velocity x dan pressure setelah melewati fan blade pada ketinggian 10.000 feet, masing-masing menghasilkan 157,057 m/s dan 64801.10 pa. Sedangkan berdasarkan ketinggian 20.000 feet, masing-masing menghasilkan 199,797 m/s dan 30619,11 Pa. Pola aliran udara yang dibelakang fan blade menghasilkan pola aliran udara laminar dan gaya dorong (thrust) dan gaya tahanan (drag) yang di hasilkan pada ketinggian 10.000 feet berturut-turut adalah 115120,442 N dan 12244,13N, dan pada ketinggian 20.000 feet adalah 134418,55 N dan 15965,3.

Kata Kunci : Turbofan, CFD, kecepatan, tekanan, gaya dorong.

ABSTRACT

Airplanes are transportation that is in great demand by the public, because of its convenience and very short flight times. At this time the mastery of engineering design technology in the aerospace sector is very fast, for example, various types of aircraft have emerged such as the Boeing series, Airbus Series, Bombardir Series, ATR Series, even domestically they also have their own aircraft made by PT Dirgantara Indonesia such as CN (235,295,2235- 200), NC212, H21 Super Puma Helicopter, N219, and others. The air flow through the fan blade on the BOEING 737-800NG aircraft with the CFM56-7B engine was analyzed using CFD software. This study focuses on the effect of altitude on speed, thrust, and drag on air flow through the fan blade using CFD software. The method used in this research, direct data collection on the object that is analyzed in CFD software. Based on the simulation on CFD, it can be concluded that Velocity x and pressure after passing through the fan blade at an altitude of 10,000 feet, produce 157.057 m/s and 64801.10 pa, respectively. Meanwhile, based on an altitude of 20,000 feet, each produces 199,797 m/s and 30619.11 Pa. The airflow pattern behind the fan blade produces a laminar airflow pattern and the thrust and drag at an altitude of 10,000 feet are 115120,442 N and 12244.13N, and at an altitude of 20,000 feet, respectively. 134418.55 N and 15965.3.

Keywords: Turbofan, CFD, Velocity x , pressure, Thrust.

1. PENDAHULUAN

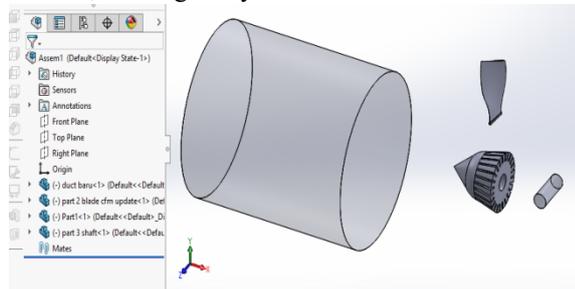
Seiring dengan perkembangan teknologi pesawat terbang sangat mendominasi dari segi transportasi. Pada zaman sekarang mesin pesawat terbang menggunakan jenis turbin gas (*Gas Turbine Engine*) dan Mesin torak (*piston engine*), Mesin torak pada umumnya di gunakan pada pesawat yang kecil dan berjelajah jarak dekat sedangkan mesin Turbin gas pada umumnya digunakan pada pesawat terbang komersial maupun pesawat militer dan berjelajah jarak jauh. Mesin turbin gas ini di

bedakan lagi menjadi empat jenis yaitu mesin *turbofan*, mesin *turboprop*, mesin *turboshaft* dan mesin *turbojet*. Di mesin turbofan kompresor di bagi menjadi dua yaitu kompresor tekanan tinggi (*High Pressure Compressor*) dan kompresor tekanan rendah (*Low Pressure Compressor*). Dibagian paling depan di mesin turbofan ada sebuah baling-baling yang berfungsi untuk menarik udara masuk ke mesin dan baling-baling disebut *Fan Blade*. *Fan Blade* ini bertindak sebagai Kompresor tekanan rendah (*Low Pressure Compressor*). Pada

saat ini Fan Blade mempunyai desain yang berbeda-beda mungkin itu berbeda dari bentuk sudutnya, bentuk airfoilnya, bentuk permukaannya maupun yang lainnya, maka terjadilah perbedaan dari segi pola aliran udara, *velocity* (kecepatan) udara maupun tekanan (*pressure*) udara dan gaya dorong (*trusth*) yang dihasilkan. Dengan aplikasi *Computational fluid dynamic (CFD)* fan blade tersebut dapat di simulasi sehingga dapat di ketahui perbedaan dari dua buah fan blade yang berbeda. Dalam penelitian ini mengenal aliran udara *fan blade* pada mesin CFM 56 -7B-72 dengan *computational fluid dynamic (CFD)*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan metode numeric 2D dan 3D dengan bantuan software computer yaitu CFD *solidword* dan menggunakan rumus gaya dorong, gaya tahanan, dan angka reynold.



Gambar. 1. Model Benda Uji

A. Tahap *Pre-processing*

Pada tahap ini benda di gambar pada *solidwork* meliputi 2D dan 3D.

Gambar. 2. Pemodelan di *solidwork*

B. Tahap *Processing*

Pada tahap ini parameter pemodelan serta kondisi yang telah di ditetapkan pada saat *pre-processing* akan di hitung oleh software komputer dan jika pengujian berhasil, akan berlanjut ke proses *past-processing*.

C. Tahap *Past-processing*

Pada tahap ini hasil dari simulasi *solidwork* akan muncul berupa gambar, data, grafik, dan simulasi berupa video.

D. Tahap Perhitungan

Pada tahap ini penulis akan mencari gaya dorong *fan blade*, gaya tahanan, dan jenis aliran dengan rumus angka reynold.

Gaya dorong *fan blade*:

$$F_{0,F} = (\rho A_F v_F) v_F = \rho A_F v_F^2$$

F = gaya dorong (N)

ρ = density (kg/m³)

A = luas penampang (m²)

v_F = kecepatan udara di belakang *fan blade* (m/s)

Gaya tahanan satu *fan blade* :

$$Cd = \frac{d}{\frac{1}{2} \rho c C_R^2}$$

Cd = koefisien tahanan

d = gaya tahanan (N)

ρ = density (kg/m³)

c = luas penampang (m²)

C_R = kecepatan udara dilihat *fan blade* (m/s)

Rumus angka Reynold :

$$Re = \frac{L \cdot V}{\nu}$$

L = panjang lintasan (m)

V = kecepatan udara (m/s)

ν = viskositas kinematik (m²/sec)

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Gambar 3. Harga Cd

Untuk permukaan yang halus merata

$$Re_u = 4.85 \times 10^5$$

Untuk irisan sayap di atmosfer

$$Re_u = 2 \times 10^6$$

Untuk tabung

$$Re_u = 2.3 \times 10^3$$

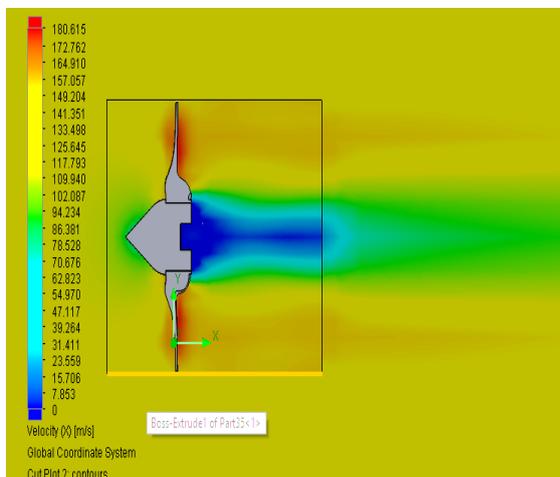
Gambar 4. Harga Re

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Velocity x* pada 10.000 feet

Gambar 5 menunjukkan distribusi aliran kecepatan udara pada *fan blade* menuju kearah x, karena benda *fan blade* kearah x. Awal mula kecepatan udara diluar hasil dari *input* yang sudah ditentukan dengan warna kuning 126.75 m/s. *Fan*

blade berputar dan aliran kecepatan udara terhisap oleh *fan blade*, lalu kecepatan udara sudah mulai meningkat mendekati *fan blade* dengan warna merah setelah itu, terjadi *stagnasi point* pada *fan blade* sehingga kecepatan udara menjadi nol. Kecepatan udara melewati (*output*) *fan blade* menghasilkan warna merah yang tinggi dengan kecepatan tinggi yang maksimal yaitu 164.762 m/s setelah itu, *output* yang keluar warna merah semakin lama akan berkurang karena jarak kecepatan aliran udara menjauh dari *fan blade*., hasil keluar (*output*) kecepatan udara dari *fan blade* lebih besar dari pada input yang masuk ke *fan blade*. Pada kecepatan udara ditengah dengan warna hijau mendekati *spinner*. Menandakan kecepatan udara menurun, karena terhambat dengan *spinner* dan kecepatan udara melewati (*output*) *spinner* menghasilkan warna biru menandakan kecepatan udara menjadi hampa akibat terhambatnya *spinner* sehingga aliran ditengah tidak ada kenaikan kecepatan udara.

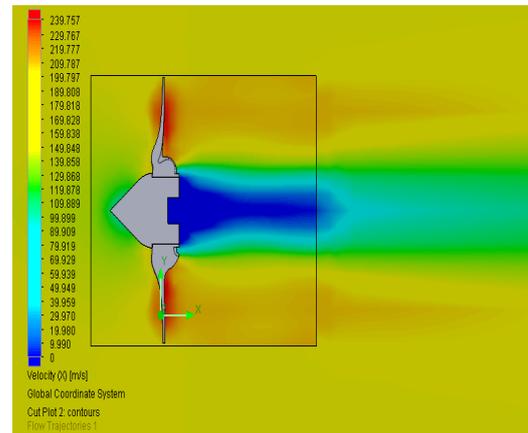


Gambar. 5. Velocity X pada 10.000 feet

2. Velocity x pada 20.000 feet

Pada ketinggian 20.000 feet bisa kita lihat pada Gambar 6, kecepatan aliran udara mengalami kenaikan ketika mendekati *fan blade* yaitu 199.797 m/s dan setelah melewati *fan blade* kecepatan udara maksimal adalah 239.757 m/s dari input kecepatan udara 164.1 m/s, ini membuat kenaikan kecepatan udara sampai 65.667 m/s. Kenaikan kecepatan udara ini bisa di akibat oleh kerapatan udara dan putaran *fan blade* itu sendiri. Di depan *spinner* terjadi *stagnasi point* yaitu dimana aliran udara terbentur di *spinner* membuat kecepatan udara menjadi berkurang, disitu juga terjadinya terbelahnya lapisan-lapisan udara. Pada di bekakang *fan blade* kecepatan aliran udara berwarna hijau itu akan di gunakan untuk masuk ke *compressor* untuk dijadikan udara dan *fuel* yang di

bakar di ruang pembakaran. Dan di belakang *spinner* warna biru itu adalah kecepatan udara 0 m/s karena di situ udara menjadi hampakarena di halangi oleh *spinner*.

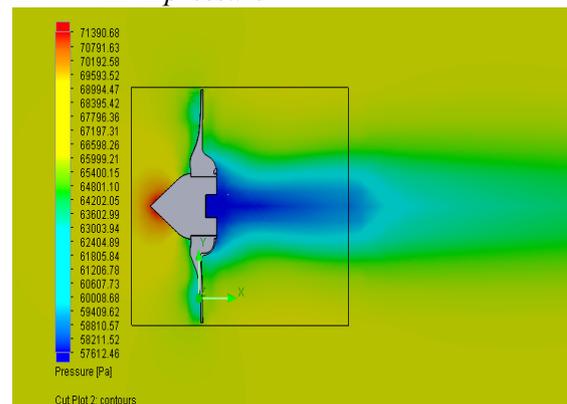


Gambar. 6. Velocity x pada 20.000 feet

3. Pressure Fan Blade Pada 10.000 feet

Gambar 7 memperlihatkan distribusi aliran udara *pressure* pada *fan blade* menuju kearah x, karena benda *fan blade* kearah x. Awal mula aliran *pressure* udara diluar hasil dari *input* yang sudah ditentukan dengan warna kuning tua dengan angka 66879.14 pa, lalu *fan blade* berputar sehingga *pressure input* yang mendekati *fan blade* mengalami penurunan dengan warna hijau dengan angka 64801.10 pa setelah itu, pada saat di tengah *fan blade* *pressure* berwarna biru muda dengan angka 61206.78 pa.

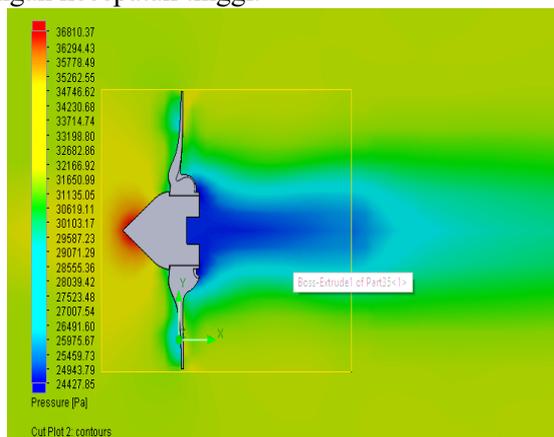
Pada aliran *pressure* udara pada bagian tengah bermula *pressure* input berwarna kuning tua. Mendekati *spinner* *pressure* udara menjadi tinggi dengan warna merah dengan angka 71390.68 pa karena terhambat dengan *spinner* setelah itu, keluar (*output*) dengan warna biru tua dengan angka 57612.56 pa dari *spinner* terjadi penurunan *pressure* karena tidak ada distribusi *pressure* udara sehingga aliran udara dibagian *spinner* menjadi hampa dan tidak ada aliran *pressure*.



Gambar 7. Pressure pada 10.000 feet

4. Pressure Fan Blade Pada 20.000 feet

Pressure udara pada ketinggian 20.000 feet bisa kita lihat pada Gambar 8. Di sini kita mengambil kesimpulan bahwa *pressure* udara di belakang *fan blade* adalah 30619.11 Pa yang berwarna hijau. Pada di tengah-tengah *fan blade* *pressure* udara sangat rendah yaitu 27007.54 pa itu di karena kan kecepatan putar dari *fan blade* membuat kecepatan udara semakin tinggi sehingga *pressure* udara nya menjadi rendah juga, terlihat warna biru muda pada tengah-tengah *fan blade*. Karena bentuk dari *fan blade* adalah airfoil, ketika aliran udara dibelah oleh *fan blade* itu membuat aliran udara yang menempel pada permukaan *fan blade* kecepatannya jadi cepat daripada ketika sebelum berada di permukaan *fan blade*, sama seperti hukum airfoil pada umumnya. Di depan ujung spinner terjadi *stagnasi*, *pressure* udara di titik ini menjadi sangat tinggi karena kecepatan udara sangat rendah yang di akibatkan oleh spinner tersebut. *Stagnasi* adalah dimana lapisan-lapisan aliran udara terbelah. Di belakang spinner terjadi hampa udara, di bagian ini kecepatan udaranya 0 m/s, dengan kecepatan udara tersebut bukan berarti tekanan udaranya menjadi tinggi, yang terjadi sebaliknya adalah tekanan udara rendah, tekanan rendah ini disebabkan oleh karena daerah tersebut komposisi atau volume udara nya sangat rendah atau kerapatan udaranya sangat rendah karena aliran udara terhalang oleh spinner dan aliran udara yang di hasilkan oleh *fan blade* hanya melaju kebelakang dengan kecepatan tinggi.

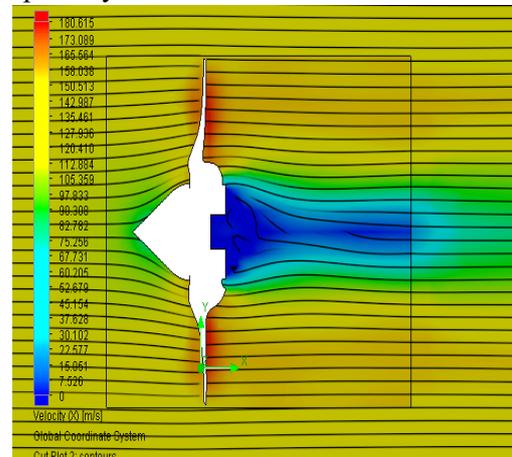


Gambar 8. Pressure pada 20.000 feet

5. Pola Aliran Udara Fan Blade Ketinggian 10.000 Feet

Pada Gambar 9. memperlihatkan karakteristik aliran udara adanya aliran udara laminar dan turbulen. Bisa dilihat garis-garis di atas adalah lapisan-lapisan aliran udara, di depan spinner terjadi *stagnasi* dimana lapisan-lapisan aliran udara terbelah oleh spinner. Di bagian *fan blade* terlihat jelas bahwa garis-garis

lapisan udara terputus pada saat mendekati *fan blade* dan setelah melewati *fan blade* terjadi lapisan-lapisan aliran udara baru. Aliran udara yang dihasilkan oleh *fan blade* dikatakan laminar karena aliran udaranya bergerak kebelakang dengan perubahan kecepatan yang tidak naik turun atau disimpulkan penurunan kecepatannya konstant.



Gambar 9. Pola Aliran Udara Fan Blade pada 10.000 feet

a) Angka Reynold Pada Puncak Fan Blade

Sekarang penulis akan mencoba menghitung bilangan Reynold pada permukaan daun *fan blade*. Karena penampang *fan blade* itu airfoil maka bisa di nyatakan bahwa aliran turbulen akan muncul pada bilangan Re di atas 2×10^6 (lihat gambar 4).

Semua parameter dari rumus angka renold di ambil dari kondisi udara yang dipengaruhi daya hisap oleh *fan blade*. Jadi diameter (D) atau panjang lintasan (L) di ambil panjang *chord line* di puncak yaitu 0.267 m, *density* (ρ) di ambil dari suhu udara -6,09 C (267,06 K) pada lampiran 3 dicari dengan rumus interpolasi, *viscosity* (μ) dari tabel lampiran pada suhu -6,09 C (suhu udara di depan blade puncak) dicari dengan perbandingan interpolasi pada tabel lampiran 8, dan kecepatan udara (V) di ambil dari kecepatan udara yang akan masuk di puncak *fan blade* yaitu 142,987 m/s.

Interpolasi *viscosity* (μ) pada suhu -6,09 C

Jadi angka Reynold nya = $\frac{\rho V L}{\mu}$

$$Re = \frac{0,7308 \frac{kg}{m^3} \times 142,987 \frac{m}{s} \times 0.267 m}{1,7 \times 10^{-5} N s/m^2}$$

$$Re = 1641184$$

Karena jumlah Re pada puncak *fan blade* lebih kecil dari 2×10^6 , maka bisa dipastikan bahwa aliran udara pada puncak *fan blade* adalah aliran laminar.

b) Angka Reynold Pada Tengah *Fan Blade*

Sekarang penulis akan menghitung jenis aliran udara pada tengah-tengah *fan blade* (seluruh parameter rumus parameter angka Reynold fokus pada tengah *fan blade*).

Diketahui : suhu udara mendekati tengah *fan blade* adalah -8 (265,15) K pada lampiran 1.

Interpolasi *density* (ρ) pada suhu -8 C

$$\text{Nilai } \textit{density} (\rho) = 0,7156 - \frac{0,8}{2} \times (0,7156 - 0,6932) = 0,706 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Jadi nilai *viscosity* (μ) = $1,71 \times 10^{-5}$

L = 0.267 m (Panjang *chord line* sama dengan puncak karena penulis membuat panjang *fan blade* dari tengah sampai puncak mempunyai panjang *chord line* yang sama)

$$V = 150,513 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{0,706 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 150,987 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,267 \text{ m}}{1,71 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2}$$

$$\text{Re} = 1664400$$

Sama halnya dengan bahwa aliran udara pada tengah-tengah *fan blade* adalah aliran laminar.

c) Angka Reynold Pada Puncak *Fan Blade*

Sekarang penulis akan menghitung jenis aliran udara pada pangkal/root *fan blade* (seluruh parameter rumus parameter angka Reynold fokus pada pangkal/root *fan blade*).

Diketahui : di lampiran 1 di ketahui suhu udara mendekati root/pangkal *fan blade* adalah -8 (265,15) K. Maka harga *density* dan *viscosity* nya sama dengan yang di tengah *fan blade*.

$$P = 0,706 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$L = 0.235 \text{ m}$$

$$\mu = 1,71 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2 \text{ (pada suhu -8 C)}$$

$$V = 141,351 \text{ m/s}$$

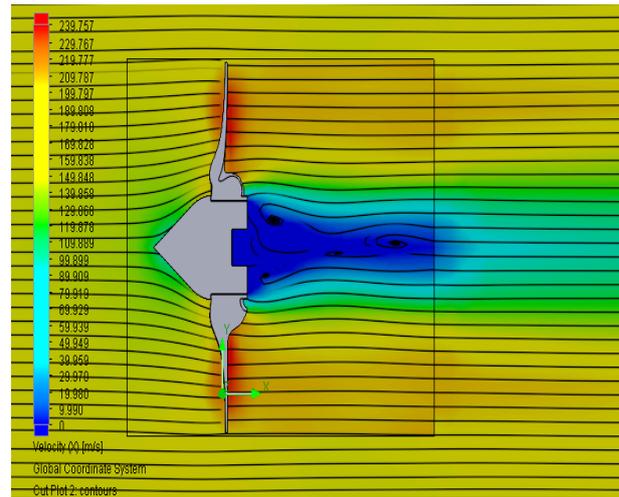
$$\text{Re} = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{0,706 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 141,351 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,235 \text{ m}}{1,71 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2}$$

$$\text{Re} = 1371435,35$$

Dengan angka Reynold di atas bisa di simpulkan bahwa aliran udara yang di hasilkan pada pangkal (*root*) adalah aliran laminar juga.

6. Pola Aliran Udara *Fan Blade* Ketinggian 20.000 Feet



Gambar 10. Pola Aliran Udara *Fan Blade* pada 20.000 feet

Sedangkan pada ketinggian 20.000 feet Pada Gambar 10. menunjukkan karakteristik aliran udara adanya aliran udara laminar dan turbulen. Tidak jauh beda pada ketinggian 10.000 feet aliran udara yang dihasilkan oleh *fan blade* adalah laminar karena aliran udara semakin kebelakang alirannya tetap sejajar pada lintasan sebelumnya dan mengalami penurunan kecepatan secara konstan.

a) Angka Reynold Pada Puncak *Fan Blade*

suhu udara mendekati tengah *fan blade* adalah -8 (265,15) K pada lampiran 2.

Interpolasi *density* (ρ) pada suhu -26,19 C (246,96 K) pada lempiran 2.

$$\textit{density} (\rho) = 0,5328 - \frac{0,41}{2} \times (0,5328 - 0,5150) = 0,529 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Interpolasi *viscosity* (μ) pada suhu -26,19 C

viscosity (μ)

$$\text{Re} = 1590183$$

Karena jumlah Re pada puncak *fan blade* lebih kecil dari 2×10^6 , maka bisa dipastikan bahwa aliran udara pada puncak *fan blade* adalah aliran laminar.

b) Angka Reynold Pada Tengah *Fan Blade*

Sekarang penulis akan menghitung jenis aliran udara pada tengah-tengah *fan blade* (seluruh parameter rumus parameter angka Reynold fokus pada tengah *fan blade*).

suhu udara mendekati tengah *fan blade* adalah -29,82 C (243,33) K

$$L = 0.267 \text{ m}$$

$$V = 189,808 \text{ m/s}$$

Interpolasi *density* (ρ) pada suhu $-29,82 \text{ C}$ (243,33) K

$$\text{density } (\rho) = 0,4976 - \frac{0,78}{2} \times (0,4976 - 0,4806) = 0,491 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Interpolasi *viscosity* (μ) pada suhu $-29,82 \text{ C}$ pada lempiran 5

$$\text{viscosity } (\mu) = 1,61 \times 10^{-5} - \frac{-0,18}{-10} \times (1,61 \times 10^{-5} - 1,56 \times 10^{-5})$$

$$= 1,61 \times 10^{-5} - 0,09 \times 10^{-7} = 1,609 \times 10^{-5}$$

$$\text{Re} = 1458525$$

Sama halnya dengan bahwa aliran udara pada tengah-tengah *fan blade* adalah aliran laminar.

c) Angka Reynold Pada Pangkal/root *Fan Blade*

Sekarang penulis akan menghitung jenis aliran udara pada pangkal/root *fan blade* (seluruh parameter rumus parameter angka Reynold fokus pada pangkal/root *fan blade*).

suhu udara sama dengan di tengah *fan blade* yaitu $29,82 \text{ C}$ (243,33) K.

$$\rho = 0.4911 \text{ kg/m}^3$$

$$L = 0.235 \text{ m}$$

$$\mu = 1.609 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2$$

$$V = 169,828 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{0.4911 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 169,828 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.235 \text{ m}}{1.609 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2}$$

$$\text{Re} = 1218122,7$$

Dengan angka Reynold di atas bisa di simpulkan bahwa aliran udara yang di dihasilkan pada pangkal (*root*) adalah aliran laminar juga.

7. Gaya Dorong (*thrust*) *Fan Blade* pada 10.000 *feet*

Pada bagian ini penulis akan mencari gaya dorong (*trusth*) yang di dihasilkan oleh *Fan Blade* menggunakan data-data dari hasil CFD dengan rumus gaya dorong pada masing-masing ketinggian.

Dibagian ini penulis akan mencari gaya dorong *fan blade* dengan data kecepatan udara di belakang *fan blade* (v_F^2) di ambil dari Gambar 9, density udara (ρ) pada lampiran dan luas penampang *Fan Blade* (AF) di ambil dari dengan menghitung seluruh luas *fan blade*.

Diketahui : rumus gaya dorong *fan blade*

$$\rightarrow FF = \rho AF v_F^2$$

$$\rho \text{ (density udara)} = 0.7385 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$AF \text{ (luas penampang } Fan \text{ Blade)} = 6.32 \text{ m}^2$$

$$v_F^2 \text{ (kecepatan udara di belakang } fan \text{ blade)} = 157.057 \text{ m/s}$$

Jawaban :

$$FF = \rho AF v_F^2$$

$$FF = 0,7385 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6.32 \text{ m}^2 \times (157.057 \text{ m/s})^2$$

$$FF = 4,667 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 24666,9 \text{ (m/s)}^2$$

$$FF = 115120,442 \text{ kg } \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 115120,442 \text{ Newton}$$

8. Gaya Dorong (*thrust*) *Fan Blade* pada 20.000 *feet*

Dibagian ini penulis akan mencari gaya dorong *fan blade* pada ketinggian 20.000 *feet* dengan data kecepatan udara di belakang *fan blade* (v_F^2) di ambil dari Gambar 10, density udara (ρ) pada lampiran dan luas penampang *Fan Blade* (AF) di ambil dari dengan menghitung seluruh luas *fan blade*.

Diketahui : rumus gaya dorong *fan blade* $\rightarrow FF = \rho AF v_F^2$

$$\rho \text{ (density udara)} = 0.5328 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$AF \text{ (luas penampang } Fan \text{ Blade)} = 6.32 \text{ m}^2$$

$$v_F^2 \text{ (kecepatan udara di belakang } fan \text{ blade)} = 199,797 \text{ m/s}$$

Jawaban :

$$FF = \rho AF v_F^2$$

$$FF = 0,5328 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6.32 \text{ m}^2 \times (199,797 \text{ m/s})^2$$

$$FF = 3,367 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 39918,84 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$FF = 134418,55 \text{ kg } \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 134418,55 \text{ Newton}$$

9. Gaya Tanahan (*drag*) *Fan Blade* pada 10.000 *feet*

Pada bagian ini penulis akan mencari gaya tahanan (*drag*) yang di dihasilkan oleh *fan blade* menggunakan data-data dari hasil CFD dengan rumus gaya dorong pada masing-masing ketinggian

Dibagian ini penulis akan mencari gaya tahanan *fan blade* pada ketinggian 10.000 *feet* dengan luas penampang *fan blade* (c), density udara (ρ) pada lampiran dan *drag coefficient* (C_d) terdapat pada Lampiran.

rumus gaya tahanan satu daun *fan blade* \rightarrow

$$d = \frac{1}{2} C_d \rho c c_R^2$$

$$\rho \text{ (density udara)} = 0.7385 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_d = 0.12$$

$$c \text{ (luas penampang satu daun } fan \text{ blade)} = 0.263 \text{ m}^2$$

$$C_R = \frac{C'_0}{\sin \phi} = \frac{C_0(1+a)}{\sin \phi} \text{ dan}$$

$$\tan \phi \text{ (sudut maju)} = \frac{C'_0}{\omega' r} = \frac{C_0(1+a)}{(1-a\omega)\omega r} = \frac{J(1+a)}{\pi x(1-a\omega)}$$

$$n = 2587,5 \text{ rpm} = 43,125 \text{ rotation per second}$$

$$C_0 = 126.75 \text{ m/s}$$

$$R = 0.528 \text{ m}, D = 1,056 \text{ m}$$

$$J = \frac{C_0}{nD} = \frac{126.75 \text{ m/s}}{43,125 \text{ rps } 1,056 \text{ m}} = 2,78$$

$$\pi = 3,14$$

$$x = 1$$

karena pesawat terbang mendarat (*cruise*) dan pola aliran udara yang masuk ke *fan blade* adalah laminar maka untuk harga a (factor aliran masuk) dan $a\omega$ (factor aliran masuk berputar) kita samakan dengan 0, karena harga a factor aliran tersebut sangat kecil.

$$\tan \phi = \frac{J(1+a)}{\pi x(1-a\omega)}$$

$$\tan \phi = \frac{2,78(1+0)}{3,14 \cdot 1(1-0)} = \frac{2,78}{3,14}$$

$$\tan \phi = 0,885$$

$$\phi = 41.5 \text{ degree}$$

dan untuk harga $\sin \phi$, $\sin 41.5 \text{ degree} = 0.662$

dan harga C_R , $C_R = \frac{C_0(1+a)}{\sin \phi} = \frac{126.75 \text{ m/s}}{0.662} = 191,46$
m/s

jadi harga tahanan satu *fan blade*,

$$d = \frac{1}{2} C_d \rho c C_R^2$$

$$d = \frac{1}{2} 0,12 \times 0,7385 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,263 \text{ m}^2 \times$$

$$(191,46 \text{ m/s})^2$$

$$d = \frac{1}{2} 0,0233 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 36657 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$d = \frac{1}{2} \times 854,36 \text{ kg m/s}^2$$

$$d = 427,2 \text{ N}$$

Gaya tahanan (d) 427,2 N adalah gaya tahanan hanya satu daun *fan blade*, jika sebuah mesin CFM56-7B memiliki 24 *fan blade*, maka gaya tahanan 24 daun *fan blade* adalah :

$$F_d = d \times 24$$

$$F_d = 427,2 \times 24$$

$$= 10252,4 \text{ N}$$

a. Gaya Tahanan (S_d) Spinner Pada 10.000 feet

Dibagian ini penulis akan mencari gaya tahanan *fan blade* pada ketinggian 10.000 feet dengan luas penampang *spinner* (A), density udara (ρ) pada lampiran dan *drag coefficient* (C_d) untuk bentuk benda seperti *spinner* terdapat pada gambar 3.

rumus gaya tahanan *fan blade*; $S_d = \frac{1}{2} C_d \rho A c_0^2$

$$\rho \text{ (density udara)} = 0.7385 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_d = 0.5$$

$$A \text{ (luas penampang Spinner)} = 0.6715 \text{ m}^2$$

$$C_0 = 126.75 \text{ m/s}$$

jadi harga tahanan *spinner* ,

$$S_d = \frac{1}{2} C_d \rho A c_0^2$$

$$S_d = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 0.7385 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 0.6715 \text{ m}^2 \times$$

$$(126.75 \text{ m/s})^2$$

$$S_d = \frac{1}{2} \times 0,248 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 16065,5 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$S_d = 1991,7 \text{ N}$$

Jadi gaya tahanan *spinner* pada ketinggian 10.000 feet adalah 1991,7 N.

gaya tahanan (F_D) *fan blade* pada ketinggian 10.000 feet adalah

$$F_D = F_d + S_d$$

$$F_D = 10252,4 \text{ N} + 1991,7 \text{ N}$$

$$F_D = 12244,13 \text{ N}$$

10. Gaya Tahanan (*drag*) Fan Blade pada 20.000 feet

Dibagian ini hampir sama caranya seperti bagian 9, penulis akan mencari gaya tahanan *fan blade* pada ketinggian 20.000 feet dengan luas penampang *fan blade* (\odot), density udara (ρ) pada lampiran dan *drag coefficient* (C_d) terdapat pada lampiran.

gaya tahanan satu daun *fan blade* $\rightarrow d =$

$$\frac{1}{2} C_d \rho c C_R^2$$

$$\rho \text{ (density udara)} = 0.5328 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_d = 0.12$$

$$c \text{ (luas penampang satu daun fan blade)} = 0.263 \text{ m}^2$$

$$C_R = \frac{C'_0}{\sin \phi} = \frac{C_0(1+a)}{\sin \phi} \text{ dan}$$

$$\tan \phi \text{ (sudut maju)} = \frac{C'_0}{\omega' r} = \frac{C_0(1+a)}{(1-a\omega)\omega r}$$

$$= \frac{J(1+a)}{\pi x(1-a\omega)}$$

$$n = 3622,5 \text{ rpm} = 60,375 \text{ rotation per}$$

$$\text{second}$$

$$C_0 = 164,1 \text{ m/s}$$

$$R = 0.528 \text{ m}, D = 1,056 \text{ m}$$

$$J = \frac{C_0}{nD} = \frac{164,1 \text{ m/s}}{60,375 \text{ rps } 1,056 \text{ m}} = 2,57$$

$$\pi = 3,14$$

$$x = 1$$

karena pesawat terbang mendarat (*cruise*) dan pola aliran udara yang masuk ke *fan blade* adalah laminar maka untuk harga a (factor aliran masuk) dan $a\omega$ (factor aliran masuk berputar) kita samakan dengan 0, karena harga a factor aliran tersebut sangat kecil.

$$\tan \phi = \frac{J(1+a)}{\pi x(1-a\omega)}$$

$$\tan \phi = \frac{2,57(1+0)}{3,14 \cdot 1(1-0)} = \frac{2,57}{3,14}$$

$$\tan \phi = 0,818$$

$$\phi = 39.3 \text{ degree}$$

Maka untuk harga $\sin \phi$, $\sin 39.3 \text{ degree} = 0.633$

$$\text{dan harga } C_R, C_R = \frac{C_o(1+a)}{\sin \phi} = \frac{164.1 \text{ m/s}}{0.633} = 259,2 \text{ m/s}$$

jadi harga tahanan satu daun *fan blade*,

$$d = \frac{1}{2} C_d \rho c C_R^2$$

$$d = \frac{1}{2} 0,12 \times 0.5328 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.263 \text{ m}^2 \times (259,2 \text{ m/s})^2$$

$$d = \frac{1}{2} 0,0168 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 67184,64 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$d = \frac{1}{2} \times 1129,7 \text{ kg m/s}^2$$

$$d = 564,86 \text{ N}$$

Gaya tahanan (d) 564,86 N adalah gaya tahanan hanya satu daun *fan blade*, jika sebuah mesin CFM56-7B memiliki 24 *fan blade*, maka gaya tahanan 24 daun *fan blade* adalah :

$$F_d = d \times 24$$

$$F_d = 564,86 \text{ N} \times 24$$

$$F_d = 13556,65 \text{ N}$$

a. Gaya Tahanan (S_d) *Spinner* Pada 20.000 feet

Dibagian ini hampir sama dengan bagian 4.4.2, penulis akan mencari gaya tahanan *spinner* pada ketinggian 20.000 feet dengan luas penampang *spinner* (A), density udara (ρ) pada lampiran dan *drag coefficient* (C_d) untuk bentuk benda seperti *spinner* terdapat pada Gambar 2.40. rumus gaya tahanan *fan blade*:

$$S_d = \frac{1}{2} C_d \rho A c_o^2$$

$$\rho \text{ (density udara)} = 0.5328 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_d = 0.5$$

$$A \text{ (luas penampang } \textit{Spinner}) = 0.6715 \text{ m}^2$$

$$C_o = 164,1 \text{ m/s}$$

Jawab

jadi harga tahanan *spinner* ,

$$S_d = \frac{1}{2} C_d \rho A c_o^2$$

$$S_d = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 0.5328 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.6715 \text{ m}^2 \times (164,1 \text{ m/s})^2$$

$$S_d = \frac{1}{2} \times 0,179 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 26928,8 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$S_d = 2408,6 \text{ N}$$

Jadi gaya tahanan *spinner* pada ketinggian 10.000 feet adalah 2408,6 N.

Maka gaya tahanan (F_D) *fan blade* pada ketinggian 20.000 feet adalah

$$F_D = F_d + S_d$$

$$F_D = 13556,65 \text{ N} + 2408,6 \text{ N}$$

$$F_D = 15965,3 \text{ N}$$

4. KESIMPULAN

Hasil analisa aliran udara *fan blade CFM 56 -7B* dengan *Computational Fluid Dynamic* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Velocity* x dan *pressure* setelah melewati *fan blade* pada ketinggian 10.000 feet, masing-masing menghasilkan 157,057 m/s untuk *velocity* x lebih besar 30,082 m/s dari input dan 64801.10 pa untuk *pressure* lebih kecil 2078,04 Pa dari input. Sedangkan berdasarkan ketinggian 20.000 feet, masing-masing menghasilkan 199,797 m/s untuk *velocity* x lebih besar 35.697 m/s dari input dan 30619,11 Pa untuk *pressure* lebih kecil 1786,25 Pa dari input.
2. Pola aliran udara yang dibelakang *fan blade* menghasilkan pola aliran udara laminar
3. Gaya dorong (*trusth*) yang di hasilkan pada ketinggian 10.000 feet adalah 115120,442 Newton dan pada ketinggian 20.000 feet adalah 134418,55 Newton.
4. Gaya tahanan (*drag*) yang di hasilkan pada ketinggian 10.000 feet adalah 12244,13 N dan pada ketinggian 20.000 feet adalah 15964,3 N.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, Jhon D, Jr. 1995. *Computational Fluida Dynamic* (2nded). New York Mc Graw Hill.
- Arismunandar, Wiranto. 2002, *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*, Bandung: Penerbit ITB
- Budiarso Harinaldi. 2015, *Sistem Fluida*, Jakarta: Penerbit Erlangga
- CFMI Training Manual CFM 56 – 7B Basic Engine
- Deny Bayu Saefudin, 2018. *Kajian Kerupaan Parameter Kinerja Miniatur dan Prototipe Turbine Angin Sumbu Horizontal*. Volume: 1
- Heriyanto Rusmayardi, 2018. *Model Perencanaan Performasi Aerodinamika Turbin Angin Darrieus Dengan Metode Multiple Streamtube*. Volume: 9
- https://id.wikipedia.org/wiki/Engine_CFM56, Di akses pada tanggal 10 agustus 2019 pukul 18.30 WIB
- Suyitnadi, 2010. *Analisis Peningkatan Efisiensi Turbofan Dengan Pembakaran Tambahan Pada Ruang Antar Turbine*. Volume: 12 Halaman
- Waluyo, Moch. Slamet. 1996, *Seri Teknik Penerbangan Aerodinamika*, Yogyakarta: Penerbit Andi