

Simulasi Numerik Nilai Koefisien Aerodinamika Pada Sayap ATR-72 Dalam Kondisi Normal dan Kondisi Terbentuknya Es

Fika Airlangga Raharja Putra¹, Sugianto²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40059

¹E-mail : fika.airlangga.aer19@polban.ac.id

²E-mail : sugianto@polban.ac.id

ABSTRAK

Rgucy cv' vgt dcp i " f crco " uwj w' tgpfcj " f cr cv' o gp { gdc dncp " vgt dgpwnp { c " gu0' Rgo dgpwnep " gu' f cr cv' dgtfco r cni' dwtwnl' r cf c " r gucy cv' ugj lpi i c " o gp { gdc dncp " r gtwdcj cp " pkrck' nqghkugp " cgtqf kpcu ku0' Rgo dgpwnep " gu' f cr cv' vgt lcf k' f k' lugo wc' dci kcp' r gucy cv' ucncj " ucwpc { c' cf crnj " uc { cr " rgef lpi " gf i g0F crco " r gpgkckp " kpk' r gpwku' cncp " o grcmwncp " uko wrck' pwo gtni' o gpi i wpcncp " cr rkcuk' eqo r wcvkqpcn' hnwf " f { pco kE " *EHF + " f gpi cp " lwf wi' oUko wrck' P wo gtni' P krck' Mqghkugp " Cgtqf kpcu knc' r cf c " Uc { cr " CVT/94 " f crco " Mqpf kuk' P qto cni' f cp " Mqpf kuk' Vgt dgpwnp { c " Gu0' wpcncp " o grkj cv' r gtwdcj cp " r cf c " pkrck' nqghkugp " cgtqf kpcu knc' f gpi cp " o qf gr' uc { cr " ckt hqki' CVT/940Uko wrck' f krcmwnep " r cf c " uc { cr " CVT/94 " f crco " hcug " vgt dcp i " etwug " f gpi cp " ngwpi i kcp " 46.222 " h' f cp " uwj w' /54.7AE " f gpi cp " xctkcu' cr j c " /32A' j lpi i c " 34A0' J cuki' Uko wrck' { cpi " f kr gtqngj " vgt dgpwnp { c " gu' cncp " o gpekr vncp " r gpwt wpcp " pkrck' nqghkugp " rkn' f cp " ngpckncp " r cf c " pkrck' nqghkugp " f tci 0J cuki' uko wrck' { cpi " f kf cr cvncp " vgt lcf k' r gpwt wpcp " pkrck' EN " vgt dguet " vgt lcf k' r cf c " " ? " 34A' { ckw' r gpwt wpcp " EN " ugdguet " /33' " f cp " r gpwt wpcp " vgt ngeki' vgt lcf k' r cf c " " ? " 6A' f gpi cp " r gtugpcug " r gpwt wpcp " ugdguet " /6' " 0' Rcf c " pkrck' EF " vgt lcf k' ngpckncp " pkrck' nqghkugp " f tci " r cf c " ugnwtj " nqpf kuk' r gteqdcpc " xctkcu' cr j c " f gpi cp " ngpckncp " vgt dguet " r cf c " " ? " 2A' f cp " 34A' f gpi cp " ngpckncp " ugdguet " 39' " ngpckncp " vgt gpf cj " vgt lcf k' r cf c " ? " 4A' ugdguet " 33' " .

Kata Kunci

Uko wrck' P wo gtni' k' lpi . " Ngcf lpi " Gf i g . " Uc { cr " CVT/94

1. PENDAHULUAN

Pembentukan es pada pesawat merupakan peristiwa menumpuknya lapisan es pada permukaan pesawat. Es tersebut terbentuk dikarenakan pesawat sedang terbang dalam kondisi ketinggian di atas 15,000 ft dimana pada kondisi tersebut suhu udara tersebut dingin sebesar 10°C [1]. Pembentukan es juga dipengaruhi dengan kondisi cuaca pada saat terbang, apabila pesawat terbang pada saat musim hujan dan musim dingin maka pembentukan es pada pesawat berpotensi sangatlah tinggi. [2]

Bagian leading edge sayap, badan pesawat, saluran masuk engine, ekor pesawat. merupakan bagian pesawat yang sangat sering terjadi fenomena pembentukan es. Gaya aerodinamika yang terjadi pada pesawat akan berpengaruh saat terbang gaya angkat bertambah dan gaya angkat berkurang sehingga pesawat berpotensi jatuh. Berdasarkan data statistic penerbangan Amerika Serikat dalam waktu

tahun 1990-1999 untuk layanan penerbangan dikarenakan tingkat kecelakaan karena icing pada pesawat pada tahun tersebut tercatat sekitar 0,00668 dan presentase kecelakaan sebesar 1,7% [3]

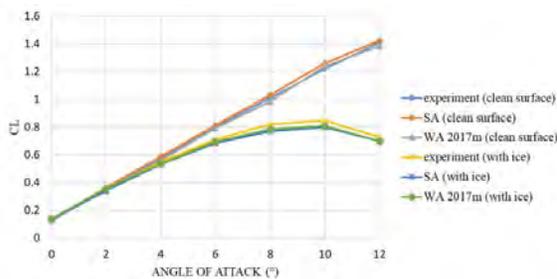
Es dapat terbentuk pada temperatur 0°C sampai dengan -40°C. Semakin tinggi pesawat terbang, maka temperatur atmosfer akan menurun dengan diikuti density, viskositas, dan tekanan yang akan turun dan berpotensi terbentuk es. Selain itu kecepatan laju pesawat, bilangan Mach serta bilangan Reynolds. [5]

Dari data penjelasan di atas dalam penelitian ini dirasa perlu untuk dilakukan "Simulasi Numerik Nilai Koefisien Aerodinamika pada Sayap ATR-72 Dalam Kondisi Normal dan Kondisi Terbentuknya Es" dengan menggunakan software CFD untuk melihat dampak sayap yang terdapat es dan yang ada es. [6]

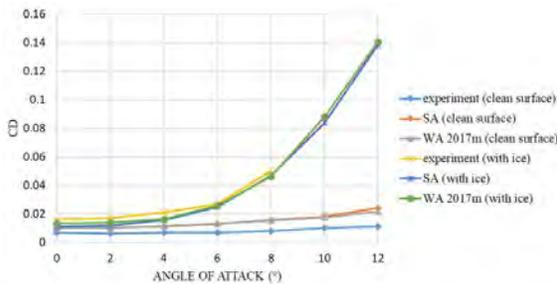
Wang (2021) dalam jurnalnya melakukan simulasi pada airfoil simetris NACA 23012 menyebutkan bahwa pesawat yang tertutup oleh es dapat

menyebabkan turbulensi pada gaya aerodinamika bahkan dapat mengganggu sistem kerja engine, flight control, hingga bertambahnya asupan bahan bakar. Secara khusus disebutkan bahwa hakikatnya ketika terbentuknya es pada sayap maka C_L akan berkurang dan C_d akan mengalami pertambahan sehingga dapat menyebabkan kecelakaan pesawat. [7]

Pada penelitiannya Wang membandingkan hasil eksperimen dan simulasi miliknya, dengan variasi $\alpha = 0$ sampai dengan $\alpha = 12$ dengan airfoil NACA 23012, ruang komputasi domain lingkaran kotak bilangan mach 0,17 dengan bilangan Reynolds $1,8 \times 10^6$ inlet di definisikan sebagai ideal gas. Dihasilkan sebuah perbandingan antara C_L dan C_d yang disimulasikan dengan aliran inkompresibel dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 1. Grafik hasil simulasi nilai C_L pada NACA 23012



Gambar 2. Grafik hasil simulasi nilai C_D pada NACA 23012

Dilihat dari hasil simulasi yang dilakukan Wang sayap tanpa es memiliki nilai koefisien aerodinamika C_L yang lebih tinggi dibandingkan dengan C_L pada kondisi sayap yang terkontaminasi es. Pada nilai koefisien drag dapat dilihat nilai C_D pada sayap tanpa memiliki nilai C_D yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai C_D yang terjadi pada sayap yang terkontaminasi es.

Tujuan dan manfaat penelitian yaitu mengetahui pengaruh pembentukan es pada sayap terhadap nilai koefisien aerodinamika dengan variasi α sudut serang. Mengetahui nilai koefisien aerodinamika terhadap sayap pada kondisi tanpa es dengan variasi

α sudut serang. Mengetahui bagaimana dampak terbentuknya es pada leading edge sayap. Kontribusi penelitian ini adalah untuk mengetahui proses pembentukan es pada pesawat dan cara pencegahannya sehingga menghindari kecelakaan pesawat.

2. TIN JAUAN PUSTAKA

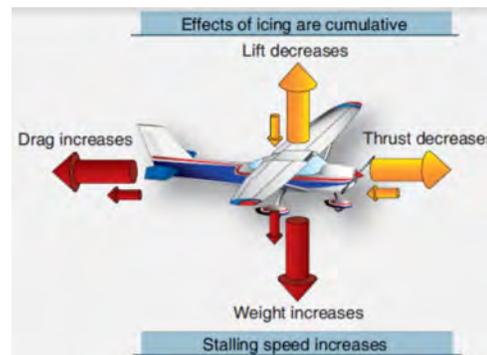
2.1 Icing pada Pesawat

Pada pesawat terbang terdapat kondisi icing yaitu jika pesawat terbang pada temperatur lingkungan sekitar 10°C hingga -40°C dan juga terdapat visible moisture.

Pembentukan es pada pesawat terbang dapat menyebabkan efek yang merugikan. Efek tersebut diantaranya adalah:

1. Jika terdapat es pada sayap pesawat terbang dapat menyebabkan bentuk dari sayap berubah maka efisiensinya akan berkurang.
2. Es pada pesawat terbang dapat menambah drag dan juga menambah beban yang merugikan.
3. Es yang terbentuk dapat menyebabkan kesalahan pada instrumen pesawat dalam membaca situasi dan kondisi pesawat udara.
4. Terbentuknya es dapat menyebabkan performa dari mesin terganggu.

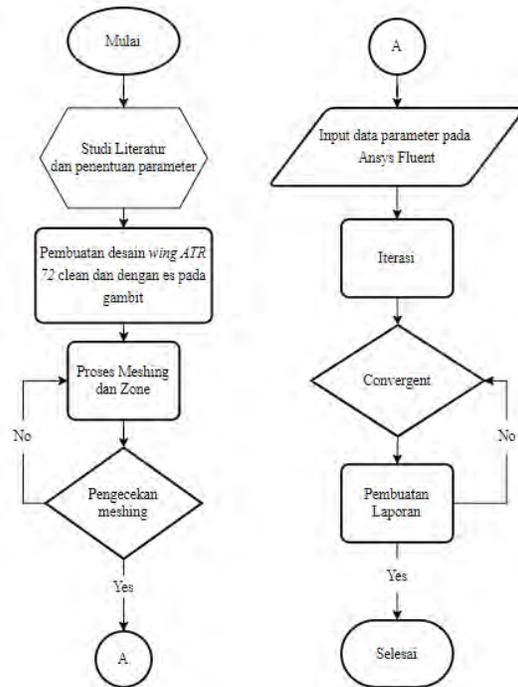
Jika terdapat es pada permukaan kontrol dapat menyebabkan permukaan kontrol menjadi tidak seimbang antara satu sama lain.



Gambar 3. Pengaruh es terhadap nilai koefisien aerodinamika

(Sumber: Aviationweather.ws)

3. METODE PENELITIAN



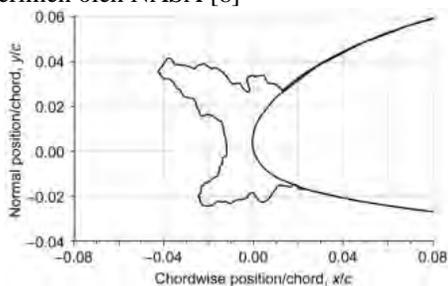
Gambar 4. Diagram alir penelitian

3.1 Studi Literatur dan Penentuan Data Penunjang Simulasi

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari literatur yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat membantu dan memudahkan selama proses penelitian. Literatur dapat berupa jurnal, buku, dan website terpercaya sebagai referensi yang digunakan.

Geometri sayap yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sayap dengan bentuk airfoil ATR-72. Dengan panjang bentang sayap dari root menuju tip sebesar 12-meter dengan bentuk airfoil chambered. Pesawat terbang pada ketinggian 24,000 ft.

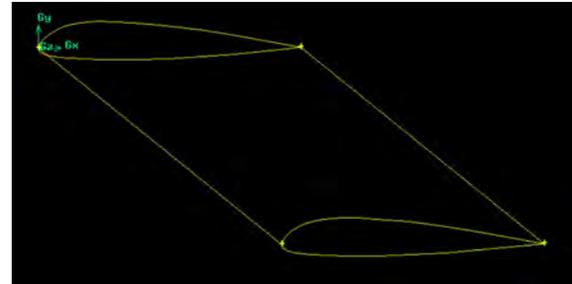
Kemudian es yang akan digunakan adalah bentuk es horn shape yang sebelumnya sudah dilakukan eksperimen oleh NASA [8]



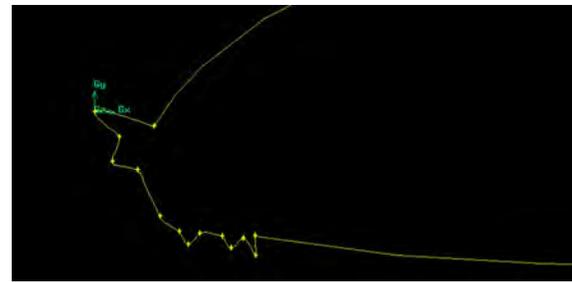
Gambar 5. Desain es horn eksperimen NASA

3.2 Pembuatan Desain 3D Sayap ATR-72

Pembuatan desain sayap tanpa es, sayap terkontaminasi es, dan ruang domain komputasi penulis menggunakan software Gambit 2.4.6.



Gambar 6. Pembuatan desain sayap tanpa es



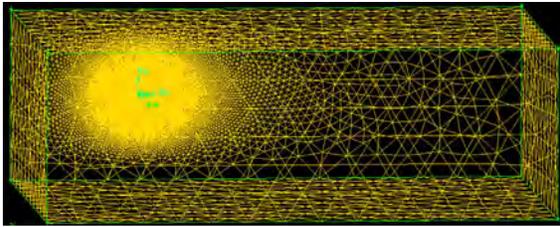
Gambar 7. Pembuatan desain sayap dengan es



Gambar 8. Pembuatan ruang komputasi udara

3.3 Proses Meshing dan Penentuan Zone

Pembuatan mesh dilakukan pada software Gambit 2.4.6. Pembuatan mesh dilakukan untuk mendefinisikan lingkungan kerja aliran udara yang akan mengalir di sekitar sayap pada saat proses simulasi. Penentuan zone dilakukan untuk mengetahui pada bidang mana simulasi akan dilakukan. Pada penelitian kali ini penulis menggunakan ruang inlet sebagai velocity inlet dan outlet sebagai pressure outlet dengan wing di definisikan sebagai wall dan bidang yang menempel pada root di definisikan sebagai bidang symmetry.



Gambar 9. Proses meshing pada seluruh volume



Gambar 10. Melakukan penentuan specific boundary zones

3.4 Input Data Parameter Simulasi

Setelah proses meshing maka akan dilakukan proses simulasi menggunakan software Fluent 6.3.26 untuk itu maka dibutuhkan data karakteristik fluida kerja dan kondisi lingkungan kerja. Data yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 1. Pengaturan input data pada Fluent

Pengaturan Fluent	Definisi
Solver	Pressure Based, Green-Gauss Node Base
Viscous	Spalart-Allmaras; Strain/Vorticity Based Production
Boundary Conditions	Inlet, Velocity = 61.74 m/s Turbulent Viscosity Ratio = 10 X dan Y Component sesuai variasi α
Initialization	Compute from = inlet
Reference Value	Compute from = inlet Area = 12 m ² Length = 1 m

Setelah melakukan input data pada software maka langkah berikutnya yaitu melakukan iterasi. Setelah iterasi selesai maka aplikasi akan menampilkan grafik kurva C_L , C_D , dan C_M sesuai dengan variasi α yang sudah ditentukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Berikut merupakan nilai koefisien aerodinamika dari hasil simulasi.

Tabel 2. Hasil simulasi sayap tanpa es

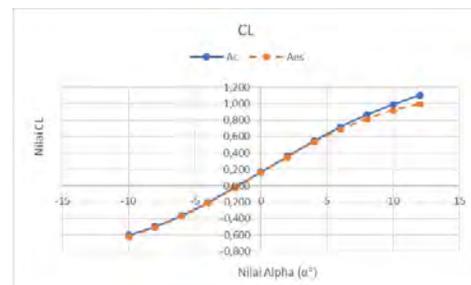
α°	Hasil Iterasi Ac		
	C_L	C_D	C_M
-10	-0,600	0,149	-0,152
-8	-0,495	0,117	-0,120
-6	-0,363	0,091	-0,080
-4	-0,200	0,073	-0,032
-2	-0,016	0,064	0,023
0	0,171	0,059	0,078
2	0,359	0,065	0,133
4	0,542	0,074	0,185
6	0,716	0,091	0,236
8	0,864	0,115	0,281
10	0,989	0,141	0,313
12	1,103	0,173	0,345

Tabel 3. Hasil simulasi sayap dengan es

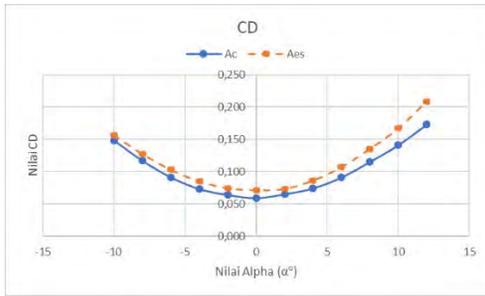
α°	Hasil Iterasi Aes		
	C_L	C_D	C_M
-10	-0,620	0,157	-0,164
-8	-0,509	0,127	-0,124
-6	-0,374	0,103	-0,079
-4	-0,214	0,085	-0,027
-2	-0,029	0,074	0,030
0	0,163	0,071	0,088
2	0,346	0,073	0,137
4	0,531	0,086	0,193
6	0,683	0,107	0,236
8	0,815	0,135	0,272
10	0,921	0,167	0,303
12	0,996	0,209	0,331

4.2 Pembahasan

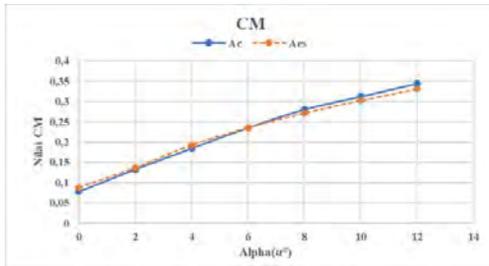
Hasil simulasi menunjukkan bahwa adanya es pada pesawat dapat mempengaruhi nilai koefisien aerodinamika seperti C_L yang akan semakin turun dan C_D yang semakin bertambah besar. Berikut grafik hasil simulasi nilai koefisien aerodinamika.



Gambar 11. Grafik nilai koefisien lift



Gambar 12. Grafik nilai koefisien drag



Gambar 13. Grafik nilai koefisien momen

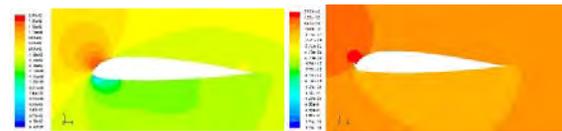
Setelah melakukan simulasi pada sayap ATR-72 tanpa es dan dengan terbentuknya es pada sayap diperoleh kurva perbandingan C_L yang terjadi pada seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pada simulasi kali ini dihasilkan bahwa terdapatnya es akan berdampak berkurangnya nilai koefisien lift pada pesawat. Pada C_L dengan $\alpha = -10$ terjadi penurunan sebesar 3% kemudian pada $\alpha = -8$ terjadi penurunan sebesar -3%. Pada $\alpha = -6$ terjadi penurunan sebesar -3%. Pada $\alpha = -4$ terjadi penurunan sebesar -7%. Pada $\alpha = -2$ terjadi penurunan sebesar -78%. Pada $\alpha = 0$, terjadi penurunan sebesar -5% pada kondisi permukaan air laut. Pada C_L dengan $\alpha = 2$ terjadi penurunan sebesar -4% pada permukaan laut. Pada C_L dengan $\alpha = 4$ terjadi penurunan sebesar -2%. Pada C_L dengan $\alpha = 6$ mengalami penurunan yaitu sebesar -5% pada kedua kondisi. Pada C_L dengan $\alpha = 8$ mengalami penurunan C_L sebesar -6%. Pada C_L dengan $\alpha = 10$ mengalami penurunan sebesar -7%. Dan pada $\alpha = 12$ mengalami penurunan C_L terbesar yaitu sebesar -11%

Pada Gambar 12 merupakan perubahan nilai C_D yang terjadi pada kondisi sayap normal dan kondisi sayap terkontaminasi es. Pada C_D $\alpha = -10$ terjadi kenaikan sebesar 5%. Pada $\alpha = -8$ sebesar 8%. Pada $\alpha = -6$ naik sebesar 11%. Pada $\alpha = -4$ terjadi kenaikan sebesar 11%. Pada $\alpha = -2$ terjadi kenaikan sebesar 14%. Kemudian dengan $\alpha = 0$ terjadi kenaikan sebesar 17%. Pada C_D dengan $\alpha = 2$ terjadi kenaikan sebesar 11% pada. Pada C_D dengan $\alpha = 4$ terjadi kenaikan sebesar 14%. Pada C_D dengan $\alpha = 6$ terjadi kenaikan sebesar 15%. Pada C_D dengan $\alpha = 8$ terjadi kenaikan sebesar 15% pada. Kemudian pada C_D dengan $\alpha = 10$

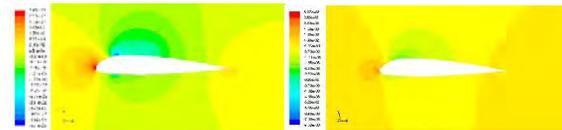
terjadi kenaikan sebesar 16% dan terakhir pada sudut $\alpha = 12$ terjadi kenaikan koefisien drag terbesar sebesar 17%.

Selanjutnya pada C_M yang ditunjukkan pada Gambar 13 menunjukkan kenaikan dan penurunan C_M pada sayap. Pada C_M $\alpha = -10$ mengalami kenaikan sebesar 7%. Pada $\alpha = -8$ terjadi kenaikan sebesar 4%. Pada $\alpha = -6$ terjadi penurunan -2%. Pada $\alpha = -4$ turun sebesar -17%. Pada $\alpha = -2$ terjadi kenaikan sebesar 23%. Kemudian dengan $\alpha = 0$ terjadi kenaikan sebesar 11%. Pada C_M dengan $\alpha = 2$ terjadi kenaikan sebesar 3%. Pada C_M dengan $\alpha = 4$ mengalami kenaikan sebesar 4%. Pada C_M dengan $\alpha = 6$ tidak terjadi kenaikan dan penurunan yaitu 0%. Pada C_M dengan $\alpha = 8$ terjadi penurunan sebesar -3%. Pada $\alpha = 10$ terjadi penurunan sebesar -3% dan terakhir pada $\alpha = 12$ terjadi penurunan sebesar 4%.

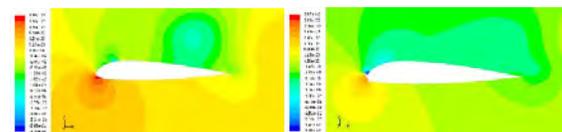
Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa tekanan dan kecepatan yang berada pada kondisi sayap tanpa es dan sayap yang terkontaminasi es akan terlihat berbeda dari tiap variasi alpha. Berikut merupakan kontur warna distribusi tekanan dan kecepatan yang terjadi pada sayap tanpa es dan dengan sayap yang terbentuk es.



Gambar 14. Distribusi tekanan alpha -10

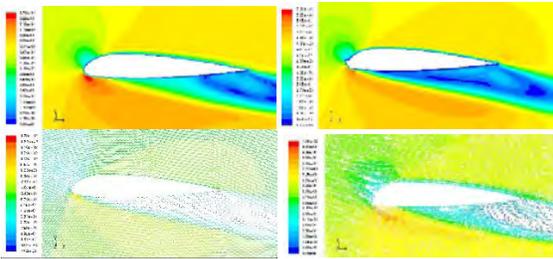


Gambar 15. Distribusi tekanan alpha 0

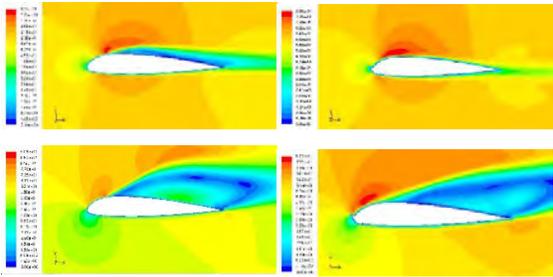


Gambar 16. Distribusi tekanan alpha 8

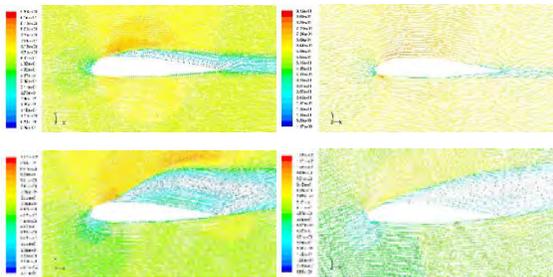
Dari kontur tekanan dapat dilihat apabila semakin tinggi variasi alpha tekanan di bawah sayap akan semakin besar dan dapat meningkatkan lift namun berbeda dengan kondisi sayap yang terkontaminasi es aliran tekanan dibawah sayap tidak sama besar maka lift akan berkurang dan tercipta turbulensi yang mengakibatkan naiknya drag.



Gambar 17. Distribusi kecepatan alpha -10



Gambar 18. Distribusi kecepatan alpha 0



Gambar 19. Distribusi kecepatan alpha 8

Dari kontur dan arah vektor kecepatan juga berlaku hukum bernouli dimana apabila arah kecepatan di atas sayap lebih banyak maka akan dihasilkan lift yang lebih tinggi pada kontur kecepatan alpha -10 dapat dilihat terjadi separasi aliran yang menyebabkan tercipta turbulensi sehingga drag yang dihasilkan tinggi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, didapat nilai koefisien aerodinamika pada kondisi normal dan sayap yang terkontaminasi es menunjukkan bahwa sayap dengan terbentuknya es akan menciptakan penurunan nilai C_L pada seluruh percobaan simulasi di berbagai variasi alpha terjadinya pengurangan C_L terbesar terjadi pada $\alpha = 12$ yaitu penurunan C_L sebesar -11% dan penurunan terkecil terjadi pada $\alpha = 4$ dengan persentase

penurunan sebesar -4%. Pada nilai C_D terjadi kenaikan nilai koefisien drag pada seluruh kondisi percobaan variasi alpha dengan kenaikan terbesar pada $\alpha = 0$ dan 12 dengan kenaikan sebesar 17% kenaikan terendah terjadi pada $\alpha = 2$ sebesar 11%. Selanjutnya C_M terjadi kenaikan dan penurunan kenaikan terbesar pada $\alpha = 0$ dengan sebesar 23% dan penurunan terkecil sebesar 0% pada $\alpha = 6$

6. SARAN

Terdapat beberapa saran agar penelitian yang lebih baik untuk masa yang akan datang, diantaranya sebagai berikut:

1. Dilakukan kaji lebih mendalam mengenai es yang disimulasikan karena bentuk macam es yang banyak bisa saja simulasi lebih bervariasi.
2. Melakukan kajian pada variasi bentuk airfoil dengan bentuk simetris, chamber, dengan winglet agar terlihat lebih variatif.
3. Melakukan kajian dengan nilai yang bervariasi seperti nilai koefisien pressure, friction dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugroho, Fadjar. Icing, Anti-Ice dan De-Ice. [Online] 2008. <http://www.ilmuterbang.com/artikel-mainmenu-29/teori-penerbangan-mainmenu-68/106-icing-anti-ice-dan-de-ice>.
- [2] Reza, Bona Fitriandria. Airbleed Indicator Faultilluminate Akibat Gangguan Pada Pressure Regulator Pada Sistem De-Icing Pesawat ATR 42-500. 2 Juny 2016.
- [3] ATR 72-600 Spesifications. Amelia Regourd Aviation Group.
- [4] *An Overview of the De-Icing and Anti-icing Technologies with*. Goraj, Zdobyslaw. 2004.
- [5] Federation Aviation Administration. *Rain and Ice Protection*. Washington, D.C: Federation Aviation Administration, 2006.
- [6] Fluent 6.3 User Guide. Lebanon: Fluent Inc, 2006.
- [7] Wang. *Numerical Simulation of flow past an Airfoil with Ice Accretion on Leading Edge*. Washington: Washington Univerity Open Scholarship, 2021
- [8] A. P. Broeren, H. E. Addy Jr, M. B. Bragg, G. T. Busch, and E. Montreuil, "Aerodynamic simulation of ice accretion on airfoils," *NASA/TP—2011-216929*, Jun. 2011