

Studi Eksperimental tentang Karakteristik Aliran Fluida pada *Airfoil* Naca 0026 dengan Penambahan Transversal *V-Riblets* Sebesar $S = H = 2$ mm

Adi Aryndra Sambodo dan Wawan Aries Widodo
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wawanaries@its.ac.id

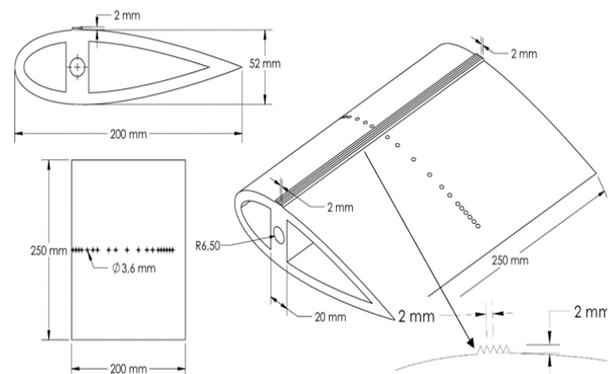
Abstrak—*Airfoil* adalah bentuk geometri yang menghasilkan gaya angkat tinggi dengan gaya hambatan rendah saat melalui fluida. Gaya angkat terjadi karena interaksi antara *airfoil* dan fluida yang mengalir, sedangkan gaya hambat disebabkan oleh gesekan antara *airfoil* dan fluida. Gaya *drag* dapat menyebabkan separasi dan *stall* pada *airfoil* pada sudut serang tertentu. Namun, aliran turbulen dapat menunda separasi karena memiliki momentum yang kuat. Oleh karena itu, Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan benda uji *airfoil* NACA 0026 yang dipasang *riblets* tipe *V-Riblet* dengan ukuran $s = h = 2$ mm pada area 25%-30% *chord*, dengan variasi sudut serang (α) = 0°, 5°, 10°, serta variasi bilangan Reynolds (Re) = 1×10^5 . Penelitian dilakukan pada *open circuit subsonic wind tunnel* di Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS dengan ukuran 660 cm x 660 cm x 1165 cm. Model benda uji *airfoil* NACA 0026 dibuat dengan ukuran span = 250 mm dan chord = 200 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *riblets V-Riblets* dapat meningkatkan *drag* hingga 7.4% dan menurunkan *lift* hingga 5.32% pada variasi bilangan Reynolds (Re) = 1×10^5 dan *angle of attack* (α) = 10°. Peningkatan bilangan Reynolds juga mempengaruhi stabilitas aliran dan karakteristik aerodinamika *airfoil*.

Kata Kunci—*Airfoil* NACA 0026, *V-Riblets*, Karakteristik Aerodinamika.

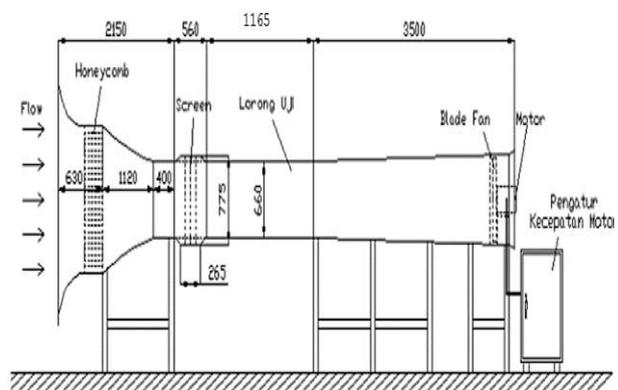
I. PENDAHULUAN

AIRFOIL adalah bentuk geometri yang menciptakan gaya aerodinamis saat fluida melewati permukaannya. *Airfoil* menghasilkan gaya angkat dan gaya hambat. Penggunaan *Airfoil* NACA umum digunakan dalam aerodinamika pesawat. NACA *airfoil* memiliki penomoran berdasarkan sifat geometrisnya. Ada dua jenis *airfoil* NACA: simetris dan asimetris. *airfoil* asimetris menghasilkan gaya angkat lebih besar karena perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah yang signifikan, sementara *airfoil* simetris tidak memiliki perbedaan tekanan yang besar. Pemilihan *airfoil* penting karena mempengaruhi performa pesawat..

Berdasarkan penelitian oleh Yarusevyach dkk, *airfoil* simetris dengan ketebalan tinggi cenderung mengalami separasi lebih awal pada sudut serang tinggi dan pada bilangan Reynolds rendah. Separasi terjadi pada NACA 0025 pada beberapa titik dengan sudut tertentu, yang dapat menurunkan gaya *lift* dan meningkatkan gaya *drag*. Oleh karena itu, passive flow control diperlukan untuk menunda separasi aliran dan meningkatkan performa *airfoil*. Teknik ini melibatkan perubahan geometri atau sifat permukaan *airfoil*, seperti pemasangan *vortex generator*, penggunaan *roughness*, atau pemberian *cavity*. *Vortex generator* mengurangi tebal lapisan boundary layer dan mengarahkan aliran dengan lebih efisien, sementara *riblets*, *groove*, dan *cavity* juga dapat membantu meningkatkan performa *airfoil*



Gambar 1. Skema benda uji riblets *airfoil*.

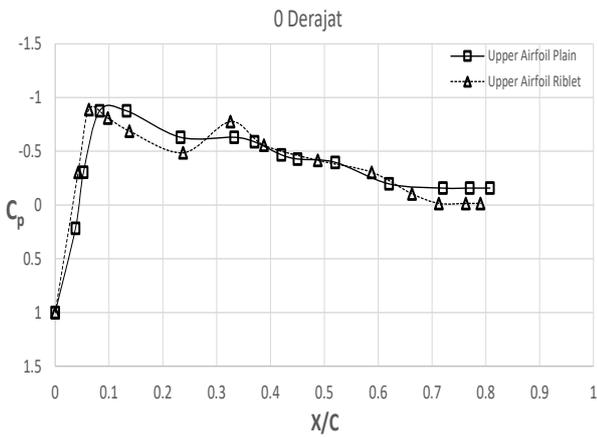


Gambar 2. Skema open circuit subsonic wind tunnel di lab. mekanika fluida teknik mesin FT-IRS ITS.

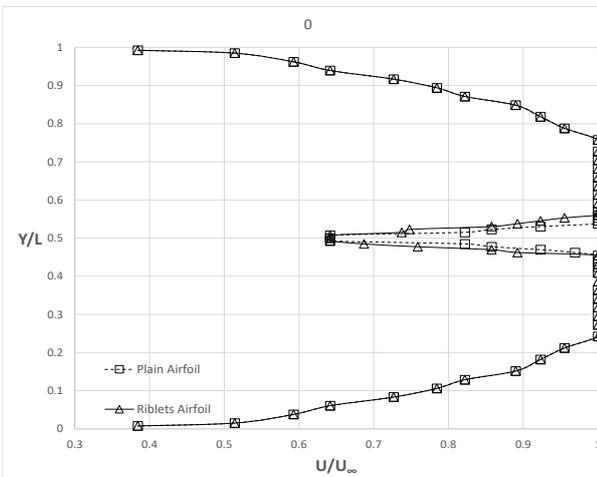
dengan mengurangi gaya *drag* dan meningkatkan gaya *lift* [1].

Penelitian oleh Walsh, menjelaskan tentang teknik pengurangan *drag* yang menggunakan variasi geometri *microsurfaces* untuk mempercepat transisi *boundary layer* menjadi turbulen yang dinamakan *ribletss*. *Riblets* ini dapat menyebabkan pengacakan yang menghasilkan perubahan kecil dalam tekanan dan kecepatan aliran di sekitarnya. Dengan demikian, ini mendorong aliran yang lebih awal dari laminar ke turbulen sehingga dapat menunda terjadinya separasi aliran di belakang *airfoil*. Penelitian menjelaskan bahwa *riblets* dapat menyebabkan pengurangan *drag* maksimum hingga 8% [2].

Penelitian oleh Caram dan Ahmed melakukan pemasangan *V-Riblets* pada NACA 0012 dengan bilangan Reynolds $Re = 2.5 \times 10^5$ [3]. Penelitian menjelaskan bahwa penggunaan *V-Riblets* dengan ukuran $h = 0.152$ mm dapat memberikan reduksi *drag* sebesar 13.3 %. Penelitian oleh Harun dkk, memasang *riblets* pada *airfoil* NACA 0026 dengan variasi



Gambar 3. Grafik *coefficient of pressure* pada bilangan Reynolds $Re=1 \times 10^5$.



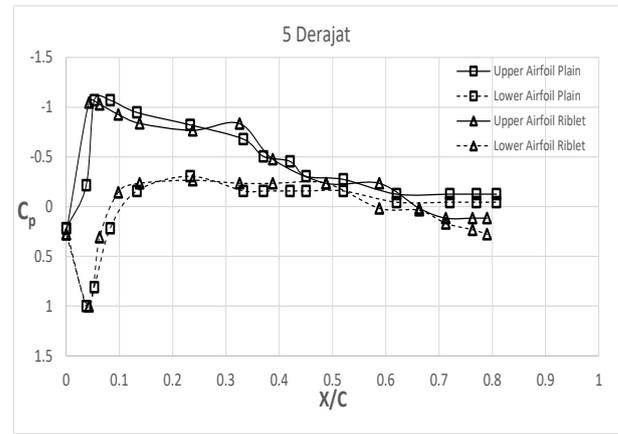
Gambar 4. Grafik *velocity profile* pada bilangan Reynolds $Re=1 \times 10^5$.

yaw angle, tinggi, dan jarak *riblets*. Pada $Re_{\tau} 200$, permukaan *riblets* mengubah boundary layer dan profil intensitas turbulensi. Tanpa *riblets*, profil kecepatan menunjukkan *wake* tinggi [4]. Penelitian oleh Guler dkk, menambahkan *riblets* pada NACA 0018 dengan Reynolds rendah, meningkatkan koefisien angkat, menunda *stall*, dan mengubah aliran udara [5]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aerodinamika dari aliran fluida yang melewati *airfoil* dengan dan tanpa *V-Riblets* pada sisi permukaan atas *airfoil* (Upper Surface) NACA 0026 dengan melakukan pengamatan terhadap distribusi tekanan pada permukaan *airfoil*, gaya *lift*, *drag*, dan profil kecepatan pada *downstream airfoil*. Penelitian akan dilakukan di *Open Circuit Subsonic Wind Tunnel* Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS.

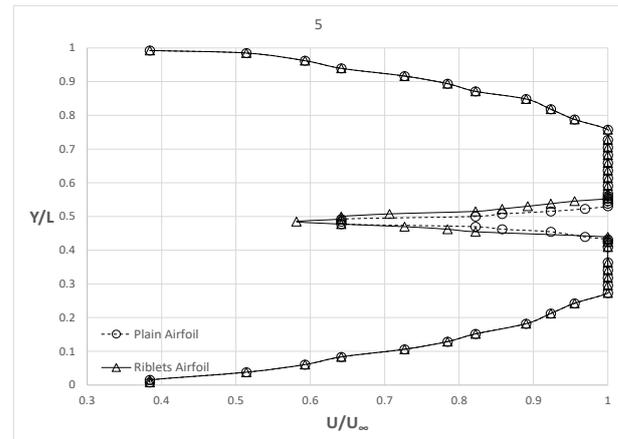
II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Model Benda Uji

Pada penelitian eksperimen yang akan dilakukan menggunakan model benda uji berupa *Airfoil symmetric* NACA 0026 dengan dipasangkan *riblets* tipe *V-riblets* pada bagian atas dari *Airfoil*. Model benda uji NACA 0026 dicetak menggunakan *3D Printing* dengan ukuran chord sebesar 200 mm dan ukuran span sebesar 250 mm. Pada *riblets airfoil* akan dipasangkan *riblets* tipe *V-Riblets* dengan ukuran $s = h = 2\text{mm}$ yang terletak pada 25%-30% chord. Skema benda uji *riblets airfoil* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 5. Grafik *coefficient of pressure* pada bilangan Reynolds $Re=1 \times 10^5$.



Gambar 6. Grafik *velocity profile* pada bilangan Reynolds $Re=1 \times 10^5$.

B. Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain *Force Balance*, *Pressure Taps*, *Pitot Tube*, *Anemometer Digital*, dan *Manometer Digital*. Penelitian dilakukan menggunakan alat utama yaitu *Open Circuit Subsonic Wind Tunnel* Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS. Skema *open circuit subsonic wind tunnel* disajikan pada Gambar 2.

C. Urutan pelaksanaan penelitian

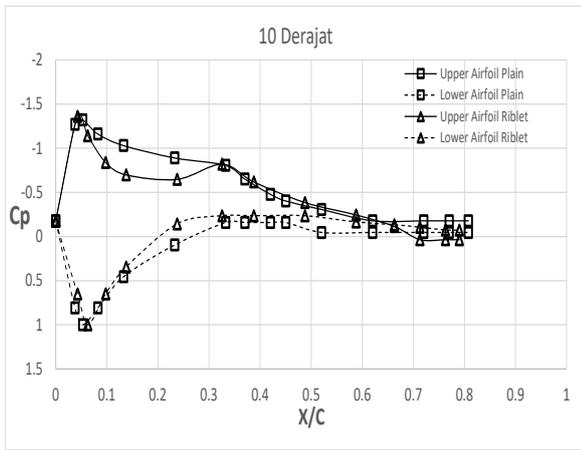
Pada tahap pengambilan data, model *Airfoil* akan diuji coba dengan 3 variasi bilangan Reynolds yang berbeda ($Re = 1 \times 10^5, 1.5 \times 10^5, \text{ dan } 2 \times 10^5$) dan pada *angle of attack* yang berbeda ($\alpha = -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, \text{ dan } 10^\circ$). Model *Airfoil* akan melalui 3 jenis pengambilan data yaitu pengukuran distribusi tekanan lokal, pengukuran gaya aerodinamik, dan pengukuran profil kecepatan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

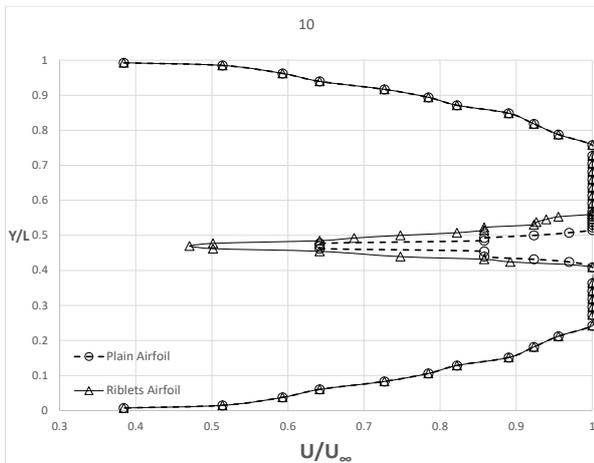
A. Pengaruh *Angle of attack* 0° pada *Plain Airfoil* dan *Riblets Airfoil*

1) Analisis *Coefficient of Pressure* pada *Angle of attack* 0°

Pada bagian ini akan dilakukan analisis terhadap grafik distribusi tekanan (C_p) dari data yang didapatkan selama penelitian. Analisis ini dilakukan agar dapat bisa memprediksi fenomena dari karakteristik aliran yang melewati *Airfoil* NACA 0026. Bagian ini akan menganalisis grafik distribusi tekanan (C_p) pada *angle of attack* 0° untuk bilangan Reynolds 1×10^5 ,



Gambar 7. Grafik *coefficient of pressure* pada bilangan Reynolds $Re=1 \times 10^5$.



Gambar 8. Grafik *velocity profile* pada bilangan Reynolds $re=1 \times 10^5$.

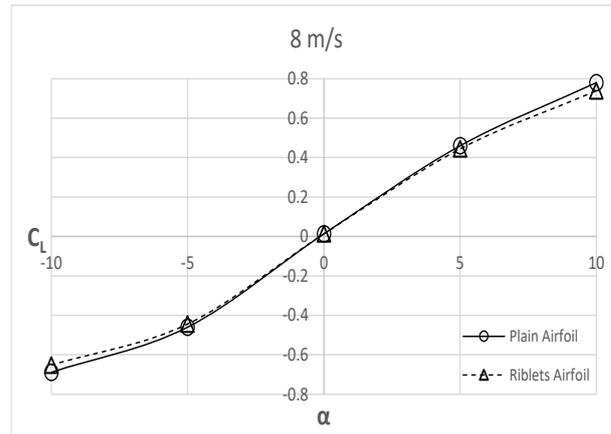
Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai C_p memiliki trendline yang hampir sama antara *plain airfoil* dan *riblets airfoil* dengan lokasi titik stagnasi berada pada titik $X/C = 0$ yang disebabkan oleh *angle of attack* pada 0° . Namun, pada titik $X/C = 0.3255$ di *riblets airfoil* bagian *upper surface* terjadi penurunan nilai C_p secara tiba tiba namun tidak secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan fenomena efek dari penggunaan *riblets* pada *upper surface* dari *airfoil*. Sehingga dapat dilihat bahwa *riblets* yang dipasangkan pada *airfoil* dapat membuat kecepatan aliran bertambah. Fenomena ini biasa disebut dengan *laminar separation bubble*.

Nilai C_p setelah melewati *riblets* pada *upper surface* *airfoil* menjadi lebih tinggi ketika dibandingkan dari *plain airfoil*. Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya pengurangan tekanan pada bagian *upper surface* dari *airfoil* setelah melewati *riblets*. Sehingga dapat dianalisis bahwa setelah aliran melewati permukaan *riblets*, aliran mengalami percepatan namun tiba tiba mengalami penurunan kecepatan hingga menuju *trailing edge* dari *airfoil*. Fenomena ini menyebabkan terjadinya separasi total pada bagian *trailing edge*

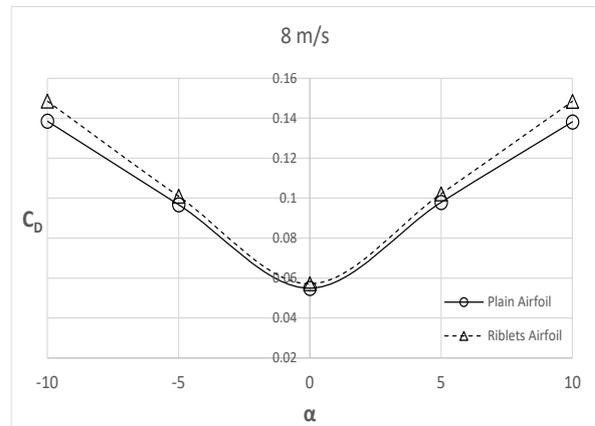
2) Analisis Profil Kecepatan pada Angle of attack 0°

Pada bagian ini akan dilakukan analisis dari karakteristik aliran yang telah melewati bodi *airfoil*. Pengambilan data dilakukan pada $0.1c$ dari *trailing edge* *airfoil* pada *angle of attack* 0° yang dilakukan menggunakan pitot tube di sepanjang penampang *wind tunnel*.

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa dengan



Gambar 9. Perbandingan grafik $C_L-\alpha$ *plain airfoil* dan *riblets airfoil* pada bilangan Reynolds $Re=1 \times 10^5$.



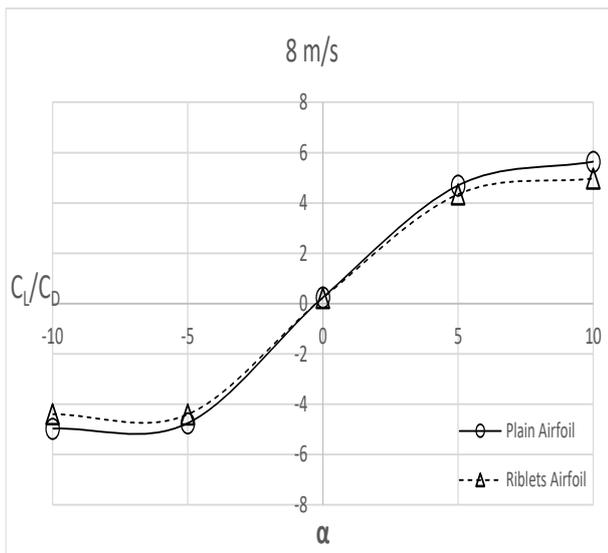
Gambar 10. Perbandingan grafik $C_D-\alpha$ *plain airfoil* dan *riblets airfoil* pada bilangan Reynolds (a) $Re=1 \times 10^5$.

ditambahkannya *riblets* pada *airfoil* dapat menyebabkan separasi pada aliran *downstream* dari *riblets airfoil*. Hal ini ditunjukkan dengan semakin besarnya *wake* dari *riblets airfoil* ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Pada *plain airfoil* *wake* hanya terjadi pada $0.4697 < Y/L < 0.5303$, sedangkan pada *riblets airfoil* *wake* terjadi pada saat $0.4621 < Y/L < 0.553$. Sehingga dapat dianalisis bahwa dengan adanya penambahan *riblets* pada *airfoil* menyebabkan *wake* pada *downstream* menjadi lebih besar yang disebabkan separasi yang terjadi pada bagian *upper surface* dari *riblets airfoil*. Hal tersebut memperkuat hasil analisis pada distribusi tekanan saat *angle of attack* 0° , dimana *wake* yang terbentuk pada bagian *upper surface* *riblets airfoil* menjadi lebih besar ketika dibandingkan dengan *plain airfoil* yang disebabkan oleh adanya *riblets* pada bagian *upper surface* dari *riblets airfoil*.

B. Pengaruh Angle of attack 5° pada Plain Airfoil dan Riblets Airfoil

1) Analisis Coefficient of Pressure pada Angle of attack 5°

Pada bagian ini akan dilakukan analisis terhadap grafik distribusi tekanan (C_p) dari data yang didapatkan selama penelitian. Analisis ini dilakukan agar dapat bisa memprediksi fenomena dari karakteristik aliran yang melewati *airfoil* NACA 0026. Bagian ini akan menganalisis grafik distribusi tekanan (C_p) pada *angle of attack* 5° untuk bilangan Reynolds 1×10^5 .



Gambar 11. Perbandingan grafik $C_D-\alpha$ plain airfoil dan riblets airfoil pada bilangan Reynolds $Re= 1 \times 10^5$.

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai C_p memiliki trendline yang hampir sama antara *plain airfoil* dan *riblets airfoil* dengan adanya perpindahan titik stagnasi yang disebabkan oleh adanya angle of attack dimana kini titik stagnasi dari kedua *airfoil* terletak pada bagian *lower surface*. Namun, pada titik $X/C = 0.32555$ di *riblets airfoil* bagian *upper surface* terjadi penurunan nilai C_p secara tiba tiba namun tidak secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan fenomena efek dari penggunaan *riblets* pada *upper surface* dari *airfoil*. Sehingga dapat dilihat bahwa *riblets* yang dipasangkan pada *Airfoil* dapat membuat kecepatan aliran bertambah. Fenomena ini biasa disebut dengan laminar separation bubble

Nilai C_p setelah melewati *riblets* pada *upper surface airfoil* menjadi lebih tinggi ketika dibandingkan dari *plain airfoil*. Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya pengurangan tekanan pada bagian *upper surface* dari *airfoil* setelah melewati *riblets*. Sehingga dapat dianalisis bahwa setelah aliran melewati permukaan *riblets*, aliran mengalami percepatan namun tiba tiba mengalami penurunan kecepatan hingga menuju *trailing edge* dari *airfoil*. Fenomena ini menyebabkan terjadinya separasi total pada bagian *trailing edge*.

2) Analisis Profil Kecepatan pada Angle of attack 5°

Pada bagian ini akan dilakukan analisis dari karakteristik aliran yang telah melewati bodi *airfoil*. Pengambilan data dilakukan pada 0.1c dari *trailing edge airfoil* pada angle of attack 5° yang dilakukan menggunakan pitot tube di sepanjang penampang wind tunnel.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan ditambahkan *riblets* pada *airfoil* dapat menyebabkan separasi pada aliran downstream dari *riblets airfoil*. Hal ini ditunjukkan dengan semakin besarnya *wake* dari *riblets airfoil* ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Pada *plain airfoil* *wake* hanya terjadi pada $0.4545 < Y/L < 0.515$, sedangkan pada *riblets airfoil* *wake* terjadi pada saat $0.4545 < Y/L < 0.545$. Sehingga dapat dianalisis bahwa dengan adanya penambahan *riblets* pada *airfoil* menyebabkan *wake* pada *downstream* menjadi lebih besar yang disebabkan *separasi* yang terjadi pada bagian *upper surface* dari *riblets airfoil*. Hal tersebut memperkuat hasil analisis pada distribusi

Tabel 1.
Data Koefisien Lift pada Bilangan Reynolds $Re= 1 \times 10^5$

Airfoil	Angle of attack				
	-10	-5	0	5	10
Re = 1x 105					
XFLR 5	-1.214	-0.566	0	0.566	1.214
Eksperimen (Polos)	-	-0.45987	0.013518	0.460005	0.7804
Eksperimen (Ribletss)	-	-0.44429	0.013164	0.444301	0.7389

Tabel 2.
Data Koefisien Drag pada Bilangan Reynolds $Re= 1 \times 10^5$

Airfoil	Angle of attack				
	-10	-5	0	5	10
Re = 1x 105					
XFLR 5	0.0383	0.0300	0	0.0300	0.03832
Eksperimen (Polos)	4	3	0	3	0.13817
Eksperimen (Ribletss)	0.1385	0.0966	0.0548	0.0978	0.13817
n	2	9	7	6	
Eksperimen (Ribletss)	0.1485	0.1009	0.0571	0.1021	0.14846
n	8	4	0	7	

tekanan saat angle of attack 5°, dimana *wake* yang terbentuk pada bagian *upper surface riblets airfoil* menjadi lebih besar ketika dibandingkan dengan *plain airfoil* yang disebabkan oleh adanya *riblets* pada bagian *upper surface* dari *riblets airfoil*.

C. Pengaruh Angle of attack 10° pada Plain Airfoil dan Ribletss Airfoil

1) Analisis Coefficient of Pressure pada Angle of attack 10°

Pada bagian ini akan dilakukan analisis terhadap grafik distribusi tekanan (C_p) dari data yang didapatkan selama penelitian. Analisis ini dilakukan agar dapat bisa memprediksi fenomena dari karakteristik aliran yang melewati *airfoil* NACA 0026. Bagian ini akan menganalisis grafik distribusi tekanan (C_p) pada angle of attack 10° untuk bilangan Reynolds 1×10^5 .

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai C_p memiliki trendline yang hampir sama antara *plain airfoil* dan *riblets airfoil* dengan adanya perpindahan titik stagnasi yang disebabkan oleh adanya angle of attack dimana kini titik stagnasi dari kedua *Airfoil* terletak pada bagian *lower surface*. Namun, pada titik $X/C = 0.32555$ di *riblets airfoil* bagian *upper surface* terjadi penurunan nilai C_p secara tiba tiba namun tidak secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan fenomena efek dari penggunaan *riblets* pada *upper surface* dari *airfoil*. Sehingga dapat dilihat bahwa *riblets* yang dipasangkan pada *Airfoil* dapat membuat kecepatan aliran bertambah. Fenomena ini biasa disebut dengan laminar separation bubble

Nilai C_p setelah melewati *riblets* pada *upper surface airfoil* menjadi lebih tinggi ketika dibandingkan dari *plain airfoil*. Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya pengurangan tekanan pada bagian *upper surface* dari *airfoil* setelah melewati *riblets*. Sehingga dapat dianalisis bahwa setelah aliran melewati permukaan *riblets*, aliran mengalami percepatan namun tiba tiba mengalami penurunan kecepatan hingga menuju *trailing edge* dari *airfoil*. Fenomena ini menyebabkan terjadinya separasi total pada bagian *trailing edge*

2) Analisis Profil Kecepatan pada Angle of attack 10°

Pada bagian ini akan dilakukan analisis dari karakteristik

aliran yang telah melewati bodi *airfoil*. Pengambilan data dilakukan pada 0.1c dari trailing edge *airfoil* pada *angle of attack* 10° yang dilakukan menggunakan pitot tube di sepanjang penampang wind tunnel.

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa dengan ditambahkan *riblets* pada *airfoil* dapat menyebabkan separasi pada aliran *downstream* dari *riblets airfoil*. Hal ini ditunjukkan dengan semakin besarnya *wake* dari *riblets airfoil* ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Pada *plain airfoil* *wake* hanya terjadi pada $0.432 < Y/L < 0.5$, sedangkan pada *riblets airfoil* *wake* terjadi pada saat $0.424 < Y/L < 0.553$. Sehingga dapat dianalisis bahwa dengan adanya penambahan *riblets* pada *airfoil* menyebabkan *wake* pada *downstream* menjadi lebih besar yang disebabkan separasi yang terjadi pada bagian *upper surface* dari *riblets airfoil*. Hal tersebut memperkuat hasil analisis pada distribusi tekanan saat *angle of attack* 10°, dimana *wake* yang terbentuk pada bagian *upper surface* *riblets airfoil* menjadi lebih besar ketika dibandingkan dengan *plain airfoil* yang disebabkan oleh adanya *riblets* pada bagian *upper surface* dari *riblets airfoil*.

D. Analisis Koefisien Lift dan Drag

Analisis aerodinamika dilakukan pada *plain airfoil* dan *riblets airfoil* untuk mengetahui karakteristik *lift* dan *drag*. Penelitian menggunakan koefisien *lift* dan *drag* untuk analisis yang komprehensif. Gaya aerodinamika dihitung dengan alat *force balance* di *wind tunnel*. Hasil dari analisis akan menunjukkan pengaruh *angle of attack* terhadap koefisien *lift* dan *drag* *airfoil*. Perbandingan antara *plain airfoil* dan *riblets airfoil* dilakukan untuk melihat dampak pemasangan *riblets* pada *airfoil* NACA 0026. Variasi *angle of attack* (-10°, -5°, 0°, 5°, 10°) dan bilangan Reynolds ($Re = 1 \times 10^5$) juga diuji.

1) Analisis Koefisien Lift (C_L)

Pemasangan *riblets* pada *airfoil* bertujuan mengoptimalkan koefisien *lift*. Analisis dilakukan untuk mengetahui karakteristik aerodinamika *airfoil* dengan *riblets* dibandingkan *plain airfoil*. Grafik menunjukkan peningkatan koefisien *lift* seiring *angle of attack*. Variasi Reynolds memberikan perubahan namun tidak signifikan pada koefisien *lift*.

Gambar 9 menunjukkan bahwa terdapat trendline serupa antara *plain airfoil* dan *riblets airfoil* dalam hal koefisien *lift* (C_L), dengan nilai C_L *riblets airfoil* lebih rendah dibanding *plain airfoil*. Pada saat *angle of attack* 10° *riblets airfoil* mengalami penurunan koefisien *lift* sebesar 5.32% ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Pada *angle of attack* 5° *riblets airfoil* mengalami penurunan koefisien *lift* sebesar 3.41% ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Sedangkan pada saat *angle of attack* 0° tidak terjadi perubahan nilai koefisien *lift* karena bernilai 0. Pada *angle of attack* -5° *riblets airfoil* mengalami penurunan koefisien *lift* sebesar 3.38% ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Pada *angle of attack* -10° *riblets airfoil* mengalami penurunan koefisien *lift* sebesar 5.25% ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Penggunaan *riblets* dapat menyebabkan mengurangi koefisien *lift* *airfoil* dan tidak dapat mengoptimalkan *lift* *angle of attack*.

2) Analisis Koefisien Drag (C_D)

Gambar 10 menunjukkan bahwa koefisien *drag* *riblets airfoil* lebih tinggi dari *plain airfoil*. Pada *angle of attack* 10°,

koefisien *drag* *riblets airfoil* naik 7.44% dari *plain airfoil*. Pada *angle of attack* 5° *riblets airfoil* mengalami kenaikan koefisien *drag* sebesar 4.4% dari *plain airfoil*. Sedangkan pada saat *angle of attack* 0° *riblets airfoil* mengalami kenaikan koefisien *drag* sebesar 4.06% dari *plain airfoil*. Pada *angle of attack* -5° *riblets airfoil* mengalami kenaikan koefisien *drag* sebesar 4.39% ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Pada *angle of attack* -10° *riblets airfoil* mengalami kenaikan koefisien *drag* sebesar 7.26% ketika dibandingkan dengan *plain airfoil*. Analisis menunjukkan bahwa penggunaan *riblets* dapat menyebabkan peningkatan *drag* karena terjadi separasi dan pembentukan *wake* di belakang *airfoil*.

3) Analisis Rasio C_L/C_D

Pada bagian ini akan dilakukan analisis menggunakan perbandingan antara nilai C_L/C_D setiap benda uji terhadap *angle of attack*. Nilai C_L/C_D menunjukkan bagaimana rasio antara nilai C_L yang dihasilkan terhadap nilai C_D pada setiap sudut serang. Semakin besar nilai rasio C_L/C_D ini, maka semakin baik performa *airfoil* tersebut yang menandakan bahwa *airfoil* tersebut dapat menghasilkan gaya angkat yang besar dengan gaya hambat yang kecil.

Gambar 11 menunjukkan bahwa penggunaan *riblets* dapat menurunkan rasio C_L/C_D *airfoil*. Hal ini dapat dilihat pada *angle of attack* 10°, *plain airfoil* memiliki rasio C_L/C_D sebesar 5.64 sedangkan *riblets airfoil* memiliki nilai rasio C_L/C_D sebesar 4.97. Begitu juga pada *angle of attack* 5°, *plain airfoil* memiliki rasio C_L/C_D sebesar 4.7 sedangkan *riblets airfoil* memiliki nilai rasio C_L/C_D sebesar 4.34.

E. Diskusi

Untuk dapat memberikan analisa yang lebih mendalam terhadap pengaruh dari pemasangan *riblets* pada NACA 0026 pada titik $X/C = 0.25-0.3$ pada *angle of attack* 0°, 5°, dan 10° maka diperlukan sebuah pembahasan analisis terhadap hipotesa yang telah disebutkan. Hal ini dilakukan agar hipotesa yang ditentukan dapat dibuktikan secara teoritis. Pada bagian ini, hasil percobaan pemasangan V-*Riblets* pada NACA 0026 akan dibandingkan dengan melalui studi numerik menggunakan software XFLR5. Berdasarkan dari Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa hasil penelitian memiliki tren nilai yang sama secara teoritis dengan dibandingkan dengan nilai simulasi numerik menggunakan software XFLR5. Tren kenaikan nilai dari C_L dan C_D seiring dengan kenaikan *angle of attack*.

Penambahan *riblets* pada *airfoil* NACA 0026 tidak menurunkan koefisien *drag*, namun justru menurunkan nilai koefisien *lift*. Hal ini terjadi karena aliran akan mengalami penghalang setelah melewati *riblets*, membentuk *laminar separation bubble*. Fenomena ini terjadi karena defleksi aliran yang terlalu tinggi dari keberadaan *riblets* dan membuat daerah *laminar separation bubble* yang terbentuk membuat aliran semakin susah untuk *reattach* dan terjadilah separasi secara total. Hal tersebut yang dapat menyebabkan *airfoil* tidak mengalami penurunan *drag* dan malah menambah *drag* dari *airfoil* serta menurunkan *lift* dari *airfoil*. Sehingga penambahan *riblets* pada *airfoil* yang diharapkan dapat memberikan dampak positif terhadap performa dari *airfoil* karena secara teori *laminar separation bubble* dapat memberikan energi tambahan kepada aliran yang melewati *airfoil* agar dapat menunda separasi. Keefektifan *riblets*

dipengaruhi oleh peletakan dan geometri yang membentuk siklus laminar separation bubble yang kurang sempurna.

bahwa *airfoil* dengan *riblets* memiliki *wake* yang lebih besar dibanding plain *airfoil*.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari studi eksperimen menunjukkan bahwa peningkatan bilangan Reynolds dapat menurunkan koefisien *lift* (C_L) dan *drag* (C_D) pada *airfoil*, baik yang dipasang *riblets* maupun tidak. Menambahkan V-*Riblets* dengan ukuran tertentu pada *airfoil* NACA 0026 dapat meningkatkan *drag* hingga 7.4% dan menurunkan *lift* hingga 5.32% pada variasi bilangan Reynolds 1×10^5 dan *angle of attack* 10° . Peningkatan bilangan Reynolds mengurangi *drag airfoil* dan membuat aliran lebih stabil, serta *angle of attack* mempengaruhi koefisien *lift*. Profil kecepatan menunjukkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yarusevych, S. dkk, "Coherent structures in an airfoil boundary layer and wake at low Reynolds numbers," *Phys. Fluids*, vol. 18, no. 4, Apr. 2006, doi: 10.1063/1.2187069.
- [2] Walsh, M. J., "Riblets as a viscous drag reduction technique," *AIAA J.*, vol. 21, no. 4, pp. 485–486, Apr. 1983, doi: 10.2514/3.60126.
- [3] Caram, J. and Ahmed A., "Effects of Riblets On the Wake Characteristics of an Airfoil," 7th Applied Aerodynamics Conference, Seattle, Jul. 1989.
- [4] Harun, Z., "Turbulent structure effects due to ordered surface roughness," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 6, pp. 4301–4314, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.aej.2020.07.035.
- [5] Güler, E., "Passive flow control around naca 0018 airfoil using riblet at low reynolds number," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 11, no. 3, pp. 2208–2217, Sep. 2021, doi: 10.21597/jist.897982.