



Research Article

Pengaruh Penambahan Gurney Flap pada Airfoil NACA 0015

Ilham Wibowo¹, Bagus Radiant Utomo^{2,}, Desi Gustiani³, Muhammad Iwan⁴*

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, **Indonesia**

²Research Group of Sustainable Thermo-fluids, Universitas Sebelas Maret, **Indonesia**

³Department of Mechanical Engineering, Sakarya University of Applied Sciences, **Türkiye**

⁴Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Pontianak, **Indonesia**

*Corresponding author: bagusradiant21@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 07 January 2023

Revised : 23 July 2023

Accepted : 24 July 2023

Available online: 25 July 2023

Keywords: Aerodynamic,
Airfoil, Gurney Flap

Kata Kunci: Aerodinamika,
Airfoil, Gurney Flap

ABSTRACT

Airfoil is a modern geometry used on airplane wings, thus making research on airfoils very popular among researchers in the field of aerodynamics to increase the value of the lift coefficient. One effective way to increase the lift coefficient is by adding gurney flaps. One effective way to increase the lift coefficient is by adding gurney flaps. This study used a symmetrical NACA 0015 airfoil made by 3D printing with PLA and material with a chord length of 60 mm and a span length of 120 mm. The addition of gurney flaps with variations in the height of 2, 4, 6, and 8% chord length was tested using an open circuit wind tunnel with a wind speed of 10 m/s. Variations in the angle of attack of the airfoils tested were 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, and 200 with the measurement parameters, namely, lift coefficient and drag coefficient. The results of the highest lift coefficient values were obtained on the airfoil with the addition of a gurney flap with a height of 8% chord length at an angle of attack of 140 which obtained a value of 0.046. The lowest drag coefficient value was obtained on the airfoil with the addition of a gurney flap with a height of 4% at an angle of attack of 00, which obtained a value of 0.014.

ABSTRAK

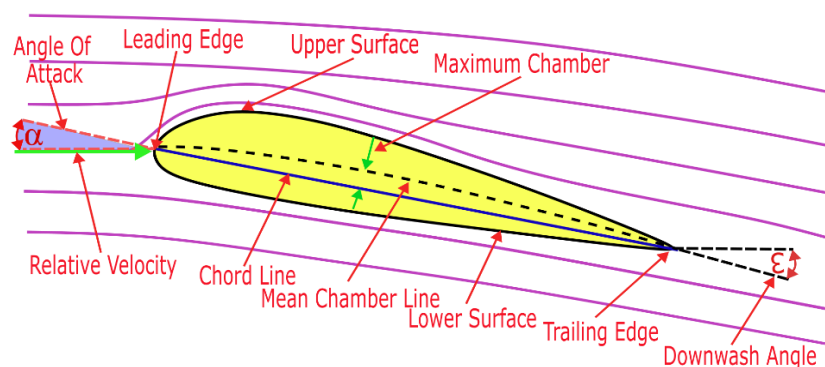
Airfoil merupakan suatu geometri yang sangat populer digunakan pada sayap pesawat terbang, sehingga menjadikan penelitian mengenai airfoil sangat populer di kalangan peneliti dibidang aerodinamika untuk meningkatkan nilai koefisien angkat. Salah satu cara yang efektif untuk meningkatkan kofisien angkat adalah dengan penambahan gurney flap yang diletakkan pada leading edge airfoil. Metode pada penelitian ini dengan menggunakan airfoil NACA simetris 0015 dibuat dengan 3D printing dengan bahan PLA dan dengan panjang

chord 60 mm dan panjang span 120 mm. Penambahan gurney flap dengan variasi ketinggian 2, 4, 6, dan 8% panjang chord yang diuji menggunakan open circuit wind tunnel dengan kecepatan angin 10 m/s. Variasi sudut serang airfoil yang diuji adalah 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 dan 200 dengan parameter pengukuran yaitu koefisien angkat dan koefisien hambat. Hasil nilai koefisien angkat yang tertinggi didapatkan pada airfoil dengan penambahan gurney flap dengan ketinggian 8% panjang chord pada sudut serang 140 yang didapatkan nilai sebesar 0,046, kemudian nilai koefisien hambat yang terendah didapatkan pada airfoil dengan penambahan gurney flap dengan ketinggian 4% pada sudut serang 00 yang didapatkan nilai sebesar 0,014.

1. PENDAHULUAN

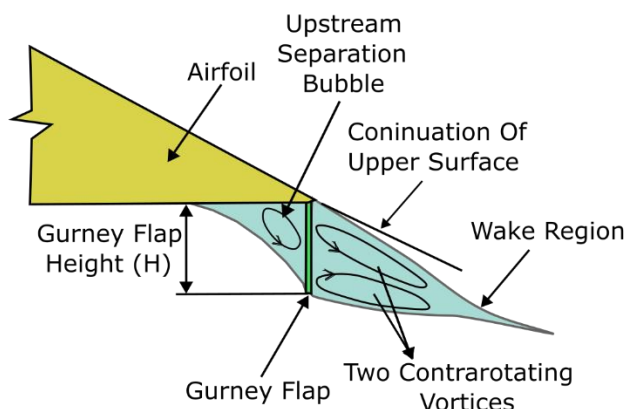
Gurney flap merupakan *tab* atau batang vertical yang umumnya ditambahkan pada sisi tekanan geometri sayap di *trailing edge* [1]. Untuk mengetahui dan menentukan karakteristik aerodinamika, dalam komunitas aeronautika telah dilakukan serangkaian pengukuran dan perhitungan yang cukup besar dalam penelitian penambahan *gurney flap* pada sayap [2]. Li et al. [3] melakukan penelitian mengenai efek penambahan *gurney flap* pada airfoil dan mengungkapkan hasil penambahan *gurney flap* pada airfoil akan meningkatkan nilai koefisien angkat. Peningkatan secara bersamaan terhadap nilai koefisien angkat serta penurunan nilai koefisien hambat dapat dilakukan dengan penambahan *gurney flap*[4]. Pemasangan *gurney flap* adalah tegak lurus terhadap garis *chord* pada *trailing edge* yang diletakkan di sisi tekan airfoil [3]. ukuran ketinggian *gurney flap* harus kurang dari ukuran ketebalan lapisan batas lokal [5].

Penambahan *gurney flap* pada geometri airfoil secara mekanis merupakan salah satu cara yang paling sederhana untuk meningkatkan nilai *coefficient of lift* [6], oleh karena itu perangkat sederhana yang ditambahkan pada airfoil untuk meningkatkan kinerja aerodinamis airfoil adalah dengan menambahkan *gurney flap*[7]. Brown et al.[1] melakukan eksperimen tentang penambahan *gurney flap* pada airfoil dengan sudut serang airfoil -4° hingga 18° . Penelitian ini menunjukkan pada sudut dibawah *stall* menjadikan *drag* meningkat pada ketinggian *gurney flap* kurang dari 20% lapisan batas *trailing edge*, sedangkan untuk ketinggiannya lebih besar atau airfoil yang telah *stall*, peningkatan *drag* biasanya dapat mencapai dua kali lipat dari airfoil biasa. *Lift* maksimal dengan rasio *drag* terjadi ketika ketinggian *flap* berkisar 90% dari ketebalan lapisan batas *trailing edge*. Gambar 1 menunjukkan tentang geometri airfoil[8], [9].



Gambar 1. Geometri Airfoil

Pada gambar 2 menunjukkan tentang kombinasi penambahan *gurney flap* pada airfoil. Penambahan *gurney flap* diletakkan pada *trailing edge* [1].penambahan *Gurney flap* umumnya digunakan untuk mengontrol aliran airfoil [10]. Efek dari penggunaan *gurney flap* dapat meningkatkan camber efektif sayap [11].Penggunaan *gurney flap* akan sedikit meningkatkan nilai koefisien hambat dan akan meningkatkan nilai koefisien angkat [12].



Gambar 2. Kombinasi *gurney flap* pada Airfoil NACA.

Graham dkk. [13] Meneliti tentang penambahan *gurney flap* pada airfoil dengan tinggi sebesar 1%, 2%, dan 4% dari panjang *chord*, dan memvariasikan kembali pada setiap variasi tinggi *gurney flap* dengan ketebalan 1%, 2%, 4%, dan 6% dari panjang *chord*. Pengujian sudut serang yang dilakukan sebesar 2° , 4° , 6° , 8° , 10° , dan 20° . Hasil penelitian pemberian sudut serang pada airfoil menjadikan *Lift augmentation* meningkat karena ketinggian *gurney flap* dan menurun dengan ketebalan *flap*, namun pada koefisien angkat yang lebih tinggi mengidentifikasi bahwa peningkatan ketebalan *Gurney Flap* akan menurunkan kinerja. Li dkk. [3] Melakukan eksperimen penambahan *gurney flap* pada airfoil NACA 0012 dengan variasi tinggi flap 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, dan 3% dari panjang *chord* dengan pengujian sudut serang 0° , 2° , 4° , 6° , 8° , 10° , 12° , 14° , 16° , dan 18° . Didapatkan hasil ketika nilai koefisien angkat lebih dari 1.0 dengan tinggi *gurney flap* 0,5% panjang *chord* memberikan peningkatan rasio *lift-to-drag* daripada airfoil tanpa *gurney flap*. Jain dkk. [14] menginvestigasi komputasi penambahan *gurney flap* pada airfoil NACA 0012 dengan variasi ketinggian 3% dan 1.5% , berjarak 0% dan 6% dari *trailing edge*, serta bersudut 0° dan 60° . Didapatkan hasil ketika *gurney flap* dipindahkan ke hulu *trailing edge* menjadikan *lift* menurun sehingga *gurney flap* harus diletakkan pada 10% dari *trailing edge*.

Salah satu jenis *Airfoil* NACA Seri 4 digit adalah *Airfoil* NACA 0015. *Airfoil* ini disebut *airfoil* simetrik karena tidak memiliki kelengkungan antara *chamber line* dan *chord*, pembuktian dari airfoil simetrik ini dapat dilihat dari dua digit pertama airfoil tersebut yaitu “00” sedangkan digit selanjutnya “15” menjelaskan ketebalan maksimum airfoil adalah 15% terhadap panjang *chord* [15]. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan NACA simetris 0015 yang akan ditambahkan *gurney flap*. Tujuan dari makalah ini adalah untuk menguji pengaruh penambahan *gurney flap* serta menganalisis kemampuan dalam meningkatkan kinerja aerodinamika pada airfoil NACA 0015.

Pengukuran performa karakteristik aerodinamika pesawat terbang dapat dilakukan dengan mencari nilai *lift* dan *drag* yang dihasilkan [16]. Gaya angkat (*lift*) dan gaya tahanan (*drag*) umumnya yang mempengaruhi aerodinamika kendaraan karena gaya tahanan diberikan oleh fluida yang mengalir pada suatu objek yang menyebabkan tahanan dalam arah paralel terhadap aliran tersebut, sedangkan gaya angkat adalah tekanan dan gaya geser dinding dengan arah gerak lurus terhadap aliran fluida [17].

Maka gaya angkat dapat di nyatakan dengan rumus sebagai berikut [18]:

$$L = C_L \frac{\rho V^2}{2} A$$

Koefisien angkat dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

Gaya hambat dapat di nyatakan dengan rumus sebagai berikut [19]:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A$$

Koefisien hambat dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

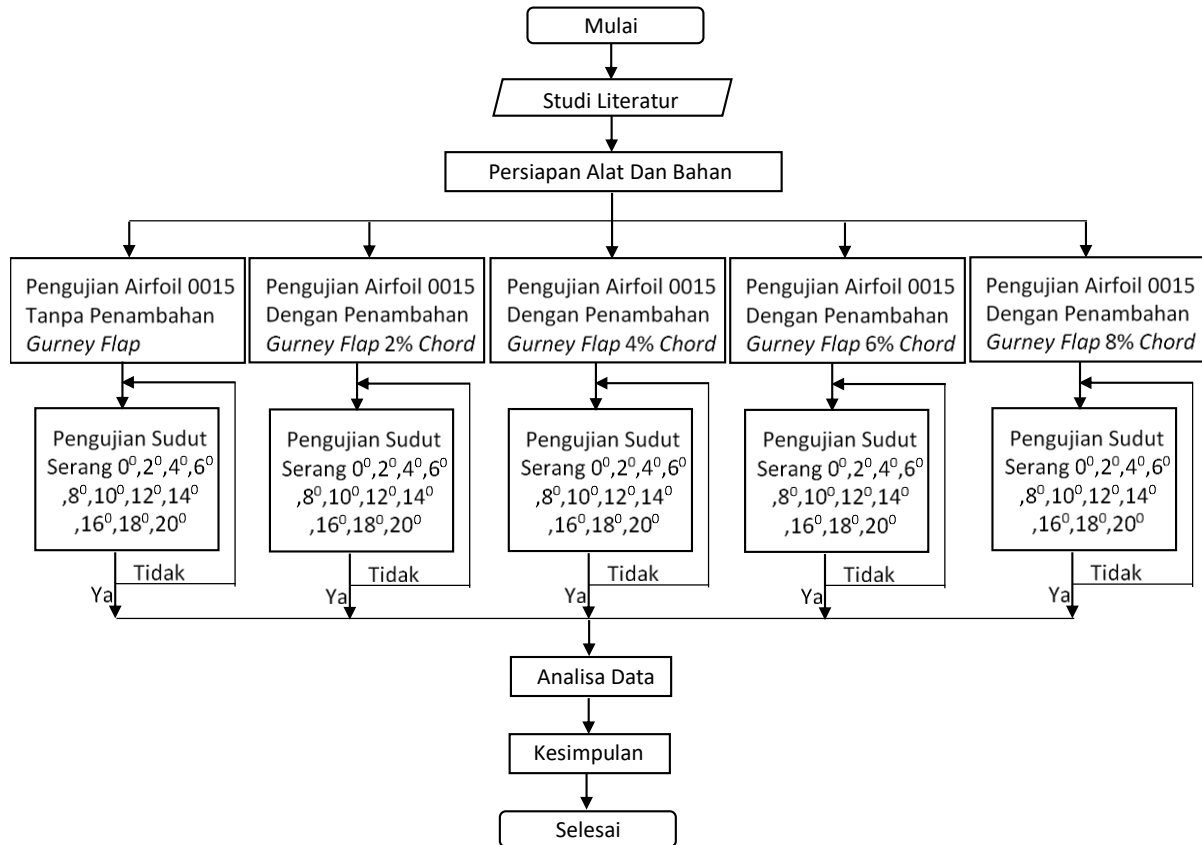
$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

Dengan keterangan F_L merupakan gaya angkat (N), C_L merupakan koefisien angkat, F_D merupakan gaya hambat (N), C_D merupakan koefisien hambat, ρ merupakan massa jenis udara (kg/m^3), V merupakan kecepatan udara (m/s), A merupakan *frontal area* (m^2).

Penelitian ini dilakukan karena penulis ingin meneliti pengaruh penambahan *gurney flap* yang diletakkan pada *leading edge* airfoil . Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *gurney flap* dengan variasi ketinggian 2%, 4%, 6%, dan 8% panjang chord terhadap koefisien angkat dan koefisien hambat airfoil.

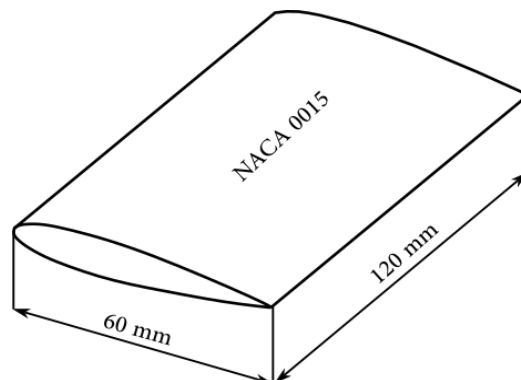
2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini disajikan dalam diagram alir sebagai berikut :

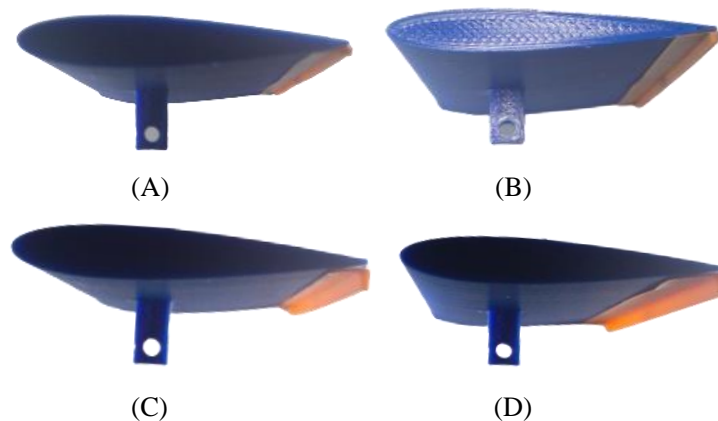


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Pembuatan geometri airfoil NACA menggunakan aplikasi xflr5 yang kemudian dikonversi kedalam bentuk 3D melalui aplikasi Freecad yang pengujiannya dilakukan menggunakan *wind tunnel*, Penelitian ini menggunakan alat ukur berbasis arduino dengan parameter yang diukur adalah F_L (gaya angkat), C_L (koefisien angkat), F_D (gaya hambat), dan C_D (koefisien hambat). Gambar 3 merupakan



Gambar 4. Gambar Airfoil NACA 0015



Gambar 5. Airfoil benda uji

Benda uji airfoil dibuat melalui 3D Printing dengan bahan PLA + yang memiliki sifat mekanik kuat yang dapat dilihat pada tabel 1 dengan berat 43 gram dan memiliki panjang *chord* 60 mm dengan panjang span 120 mm yang ditambahkan *gurney flap* dengan ketinggian 2%, 4%, 6%, dan 8% yang diletakkan pada test section yang dihubungkan dengan alat ukur berbasis arduino dalam pengambilan data pengujian yang secara otomatis dimunculkan pada layar laptop serta dapat di konversi kedalam *Microsoft Excel* untuk pengolahan data dan pembuatan grafik hasil penelitian.

Tabel 1. Karakteristik Umum PLA Amorf Komersial [22].

Characteristics	Unit	Amount
<i>Mechanical:</i>		
Tensile strength	Mpa	59
Elongation at break	%	7
Elastic modulus	MPa	3500
Shear modulus	MPa	1287
Poisson's ratio	-	0.36
Yield strength	MPa	70
Flexural strength	MPa	106
Unnotched izod	J/m	195
Notch izod impact	J/m	26
Rockwell hardness	HR	88
Heat deflection temp	°C	55
Vicat penetration	°C	59
Ultimate tensile strength	MPa	73
Percent of elongation	%	11.3
Young's modulus	MPa	1280

Model *wind tunnel* yang digunakan pada penelitian ini merupakan tipe *open circuit wind tunnel* seperti yang dimodelkan oleh Manglukar et al. [13]. Pada pengujian ini menggunakan kecepatan angin rendah sebesar 10 m/s. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui

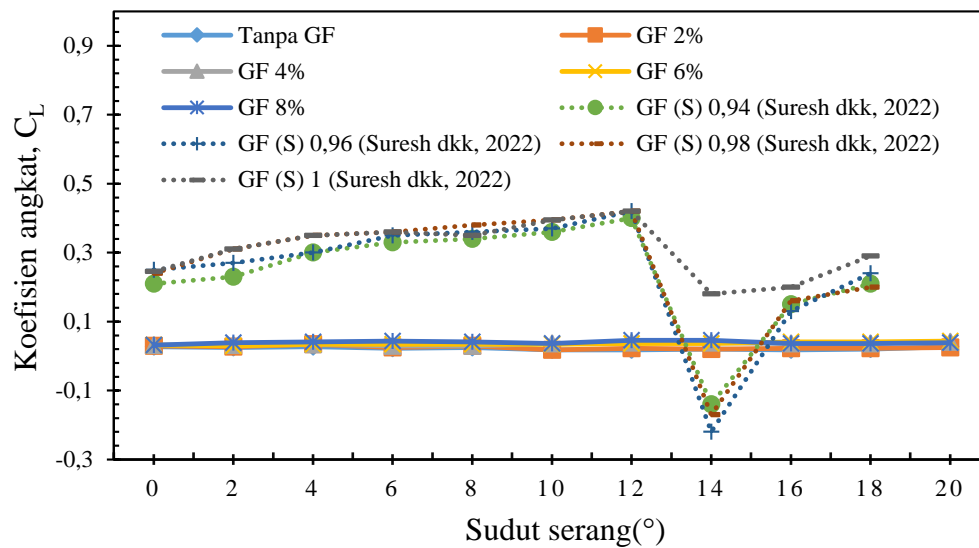
nilai koefisien angkat dan koefisien hambat dari penambahan *gurney flap* pada airfoil NACA 0015.

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil dari pengujian koefisien angkat pada Airfoil NACA 0015 dengan variasi *gurney flap* ini menunjukkan bahwa secara umum pada airfoil NACA 0015 tanpa *gurney flap* maupun menggunakan *gurney flap* yang memiliki tinggi 2% *chord* dapat dilihat gambar 5, menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya sudut serang airfoil menjadikan nilai koefisien angkat cenderung meningkat. Sedangkan dengan penambahan *gurney flap* pada airfoil NACA 0015 dengan tinggi 4%, 6%, dan 8% *chord* menunjukkan dengan seiring meningkatnya sudut serang airfoil menjadikan nilai koefisien angkat cenderung menurun. dengan pembuktian hasil perbandingan menggunakan penelitian yang dilakukan oleh Suresh dkk.[20] yang mensimulasikan CFD tentang koefisien angkat yang terjadi pada airfoil model Cm terhadap sudut serang airfoil. Perdana dkk.[19] telah menyimpulkan didalam penelitian studi numerik dan eksperimennya bahwa fenomena terdapatnya turbulensi aliran yang menyebabkan nilai koefisien angkat menurun.

Khususnya pada Airfoil NACA 0015 tanpa *gurney flap* menunjukkan nilai koefisien angkat cenderung menurun 33,33% hingga sudut 16° setelahnya nilai koefisien angkat cenderung meningkat 33,33% hingga sudut 20° , pada penambahan *gurney flap* dengan tinggi 2% dari panjang *chord* menunjukkan menunjukkan nilai koefisien angkat cenderung menurun 38,46% hingga sudut 10° setelahnya cenderung meningkat sebesar 27,27 % pada hingga sudut 20° , pada penambahan *gurney flap* dengan tinggi 4% dari panjang *chord* menunjukkan menunjukkan nilai koefisien angkat cenderung meningkat 22,22% dari sudut 0° hingga sudut 20° , pada penambahan *gurney flap* dengan tinggi 6% dari panjang *chord* menunjukkan menunjukkan nilai koefisien angkat cenderung meningkat 26,32% dari sudut 0° hingga sudut 20° pada penambahan *gurney flap* dengan tinggi 8% menunjukkan menunjukkan nilai koefisien angkat cenderung meningkat 30 % hingga sudut 14° setelahnya nilai koefisien angkat cenderung menurun 15% hingga sudut 20° .

Sehingga didapatkan nilai koefisien angkat yang tertinggi didapatkan pada airfoil dengan penambahan *gurney flap* dengan ketinggian 8% panjang *chord* pada sudut serang 12° dan 14° dengan nilai sebesar 0,046 dan didapatkan nilai koefisien angkat yang terendah didapatkan pada airfoil tanpa penambahan *gurney flap* sudut serang 10° , 12° dan 16° serta pada airfoil dengan penambahan *gurney flap* dengan ketinggian 2% panjang *chord* pada sudut serang 10° dengan nilai sebesar 0,018.

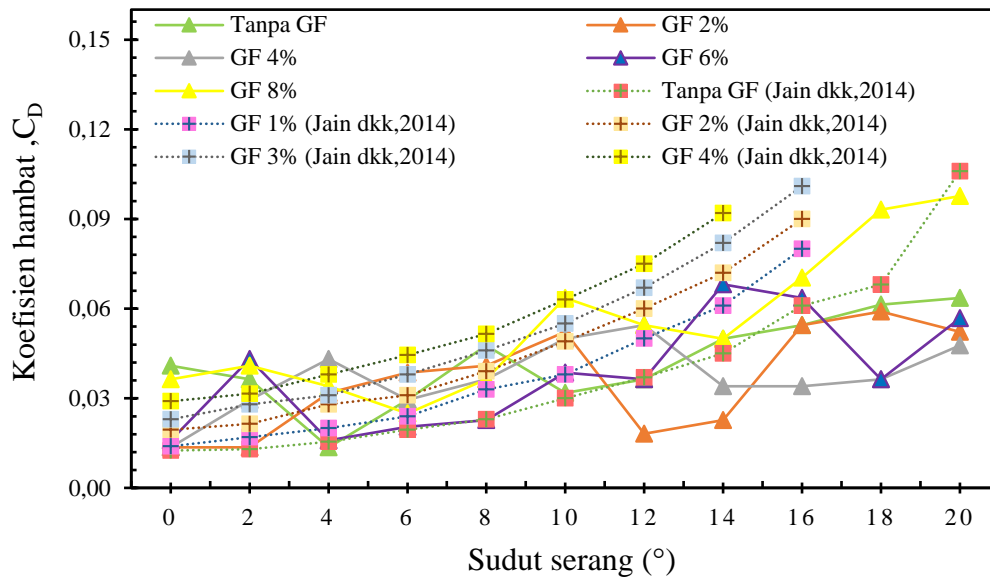


Gambar 6. Hasil koefisien angkat

Gambar 6 Menunjukkan hasil pengujian koefisien hambat pada Airfoil NACA 0015 dengan penambahan variasi *gurney flap*. Secara umum seiring dengan meningkatnya sudut serang airfoil menjadikan nilai koefisien hambat cenderung meningkat dengan pembuktian hasil perbandingan menggunakan penelitian yang dilakukan oleh Jain dkk.[14] yang meneliti tentang koefisien hambat yang terjadi pada Airfoil NACA 0012 dengan penambahan variasi ketinggian *gurney flap*. Min dkk.[21] mengungkapkan didalam penelitiannya bahwa peningkatan *drag* adalah struktur turbulensi yang terjadi.

Khususnya pada Airfoil NACA 0015 tanpa *gurney flap* menunjukkan nilai koefisien hambat cenderung meningkat 35,71% dari sudut 0° hingga sudut 20° , pada penambahan *gurney flap* dengan tinggi 2% dari panjang *chord* menunjukkan menunjukkan nilai koefisien hambat cenderung meningkat 73,91% hingga sudut 10° setelahnya menurun sebesar 65,21 % pada sudut 12° setelahnya nilai koefisien angkat cenderung meningkat sebesar 65,21 % hingga sudut 20° , pada penambahan *gurney flap* dengan tinggi 4% dari panjang *chord* menunjukkan menunjukkan nilai koefisien angkat cenderung meningkat 75% hingga sudut 12° kemudian menurun sebesar 37,5% pada sudut 16° setelah itu meningkat secara bertahap sebesar 28,57 hingga sudut 20° , pada penambahan *gurney flap* dengan tinggi 6% dari panjang *chord* menunjukkan menunjukkan nilai koefisien angkat cenderung meningkat 63,16% pada sudut 2° kemudian menurun sebesar 63,16 % pada sudut 4° kemudian cenderung meningkat sebesar 76,67 % hingga sudut 14° kemudian cenderung menurun sebesar 16,67% hingga sudut 20° , dan penambahan *gurney flap* dengan tinggi 8% menunjukkan menunjukkan nilai koefisien hambat cenderung menurun sebesar 31,25 % hingga sudut 6° setelahnya nilai koefisien angkat cenderung meningkat 74,42% hingga sudut 20° .

Sehingga didapatkan nilai koefisien hambat yang tertinggi didapatkan pada airfoil dengan penambahan *gurney flap* dengan ketinggian 8% panjang *chord* pada sudut serang 20° dengan nilai sebesar 0,098 dan didapatkan nilai koefisien hambat yang terendah didapatkan pada airfoil dengan penambahan *gurney flap* dengan ketinggian 2% pada sudut serang 0° dan 2° dan pada ketinggian 4% pada sudut serang 0° dengan nilai sebesar 0,014.



Gambar 7. Hasil koefisien hambat

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisa penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut yaitu besarnya nilai koefisien angkat yang tertinggi didapatkan pada airfoil dengan penambahan gurney flap dengan ketinggian 8% panjang chord pada sudut serang 120 dan 140 dengan nilai sebesar 0,046, kemudian nilai koefisien hambat yang terendah didapatkan pada airfoil dengan penambahan gurney flap dengan ketinggian 2% pada sudut serang 00 dan 20 dan pada ketinggian 4% pada sudut serang 00 dengan nilai sebesar 0,014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Brown and A. Filippone, "Aerofoil at low speeds with Gurney flaps," *Aeronaut. J.*, vol. 107, pp. 539–546, 2014, doi: 10.1017/S0001924000013427.
- [2] T. Liu and J. Montefort, "Thin-Airfoil Theoretical Interpretation for Gurney Flap Lift Enhancement," *J. Aircr.*, vol. 44, no. June 2014, pp. 667–671, 2007, doi: 10.2514/1.27680.
- [3] Y. Li, J. Wang, and P. Zhang, "Effects of Gurney Flaps on a NACA0012 Airfoil," *Flow, Turbul. Combust.*, vol. 68, pp. 27–39, 2002, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1023/A:1015679408150>.
- [4] G. Flap, R. A. Rachmanto, C. H. Brillianto, and S. Dwi, "Aerodynamic Characteristics of Ahmed Body with Inverted Airfoil Eppler 423 and Gurney Flap on Fastback Car," *Automot. Exp.*, vol. 5, no. 3, pp. 355–370, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.31603/ae.7067>.
- [5] X. He *et al.*, "Numerical Simulation of Gurney Flap on SFYT15thick Airfoil," *Theor. Appl. Mech. Lett.*, vol. 6, pp. 286–292, 2016, doi: 10.1016/j.taml.2016.09.002.
- [6] C. S. Jang, J. C. Ross, and R. M. Cummings, "Numerical Investigation of an Airfoil with a Gurney Flap Numerical investigation of an airfoil with a Gurney flap," *Aircr. Des.*, vol. 1, pp. 75–88, 1998, doi: 10.1016/S1369-8869(98)00010-X.
- [7] N. I. Alfajri, D. Danardono, and B. Kristiawan, "Pengaruh Penambahan Gurney Flap pada Airfoil Jenis Mshd pada Mobil Fastback dengan Variasi Ketinggian Gurney Flap dan Kemiringan Sudut Airfoil Dengan Metode Permodelan CFD," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 19, no. February, pp. 35–40, 2020, [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.20961/mechanika.v19i1.40005>.
- [8] M. F. Hidayat, "Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0021 Dengan Ansys Fluent," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 1, 2016, [Online]. Available: <https://doi.org/10.52447/jktm.v1i1.332>.

- [9] M. Sitanggang, "Penelitian Aerodinamika Sayap Pesawat Terbang," *SIPTEKGAN*, vol. 16, pp. 395–404, 2012, [Online]. Available: <http://repositorconsistencyo.id/id/eprint/812>.
- [10] L. Chng *et al.*, "On the combined use of Vortex Generators and Gurney Flaps for turbine airfoils," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2265, no. 3, pp. 1–11, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2265/3/032040.
- [11] Y. C. Li and J. J. Wang, "Effects of Gurney flaps on the lift enhancement of a cropped nonslender delta wing," *Exp. Fluids*, vol. 32, pp. 99–105, 2002, doi: 10.1007/s003480100347.
- [12] Y. Chakroun and G. Bangga, "Aerodynamic characteristics of airfoil and vertical axis wind turbine employed with gurney flaps," *Sustain.*, vol. 13, no. 8, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/su13084284.
- [13] A. M. Mitchell Graham and L. W. Traub, "Experimental Study on the Effect of Gurney Flap Thickness on Airfoil Performance," *J. Aircr.*, vol. 55, pp. 1–6, 2017, doi: 10.2514/1.C034547.
- [14] S. Jain, N. Sitaram, and S. Krishnaswamy, "Computational Investigations on the Effects of Gurney Flap on Airfoil Aerodynamics," *Int. Sch. Res. Not.*, vol. 2015, pp. 1–11, 2015.
- [15] J. C. Kewas and M. Ali, "Analisis Gaya Angkat Akibat Perubahan Kecepatan Aliran Udara Dan Sudut Serang Pada Airfoil Naca 0015 Dalam Wind Tunnel Sub Sonic," *J. Sains dan Teknol. Univ. Negeri Manad.*, vol. 3, no. April, pp. 71–79, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.unima.ac.id/index.php/efrontiers/article/view/2139/1330>.
- [16] R. D. E. dan I. K. A. P. Utama, "Analisa Perubahan Gaya Angkat dan Hambatan Total Terhadap Variasi Aspect Ratio dan Winglet pada Sayap Kapal Wing in Surface Effect Menggunakan Aplikasi CFD," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 204–209, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.35471.
- [17] N. A. Hidayati, F. Setiaji, M. Yaqin, D. M. Ulfa, and M. A. Choiron, "Analisis aerodinamis pada variasi bentuk ekor desain bodi mobil hemat energi," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 10, no. 2, pp. 66–70, 2017, [Online]. Available: <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem>.
- [18] L. W. Melantika Dahrun, Marnix L.D langoy, "KARAKTERISTIK GAYA AERODINAMIKA PADA BURUNG MERPATI (COLUMBA LIVIA)," *PHARMACON*, vol. 8, no. 3, pp. 679–685, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/pharmacon/article/view/29392>.
- [19] dan M. E. Dhedhek Wahyu Aji Perdana, "Studi Numerik dan Eksperimen Aerodinamika Airfoil NACA 24112," *Creat. Res. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2021, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.30595/cerie.v1i1.9194.g3707>.
- [20] M. Suresh and N. Sitaram, "Effect of Gurney Flap Height and Mounting Position on the Performance of a Centrifugal Fan," *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 15, no. 1, pp. 255–269, 2022.
- [21] T. Min and J. Kim, "Effects of hydrophobic surface on skin-friction drag," *Phys. Fluids*, vol. 16, no. July 2004, pp. 55–58, 2016, doi: 10.1063/1.1755723.
- [22] Farah, Shady, et al. "Physical and Mechanical Properties of PLA, and Their Functions in Widespread Applications — A Comprehensive Review." *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 107, Dec. 2016, pp. 367–92., <http://dx.doi.org/10.1016/J.ADDR.2016.06.012>