



Analisa Pengaruh Variasi Sudut dan Luas Penampang *Winglet* terhadap Sayap NACA *Airfoil* 2412 Pada Pengujian *Low Subsonic Wind Tunnel*

Anggito Bagus Satrio Asmoro

Akademi Angkatan Udara, Yogyakarta, Indonesia

e-mail : bagussatrio.ba@gmail.com

Abstrak— Pesawat terbang adalah wahana udara yang memanfaatkan perbedaan tekanan fluida udara untuk dapat melayang dan bergerak di atmosfer. Bentuk *airfoil* dari sayap pesawat adalah penyebab mengapa pesawat bisa terbang. Untuk menambah gaya *lift* pada sayap, dibuatlah alat untuk menambah gaya *lift* yang disebut *High Lift Devices* salah satunya yaitu *Winglet*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi *winglet* terhadap karakteristik aerodinamika dari model sayap *tapered wing airfoil* NACA 2412. Metode yang digunakan adalah analisis dengan pengujian menggunakan *Low Subsonic Wind Tunnel* untuk memperoleh nilai absolut karakteristik aerodinamika serta aliran udara yang terjadi. Model *tapered wing airfoil* NACA 2412 dibuat menggunakan bahan kayu sengon. Pengujian dengan *Low Subsonic Wind Tunnel* dilaksanakan untuk mengetahui perubahan karakteristik aerodinamika sayap akibat penggunaan variasi *winglet* seperti koefisien *lift* dan koefisien *drag*. Hasil yang diperoleh dari penelitian terhadap penambahan *blended winglet* pada model sayap *tapered wing airfoil* NACA 2412 yaitu terjadinya peningkatan nilai koefisien *lift* maksimum dari 0,724 menjadi 0,797.

Kata Kunci— *Aerodinamika, Blended Winglet, Low Subsonic Wind Tunnel*

I. PENDAHULUAN

Pesawat terbang adalah wahana udara yang memanfaatkan perbedaan tekanan fluida udara untuk dapat melayang di atmosfer. Bentuk *airfoil* pada sayap adalah penyebab mengapa pesawat bisa terbang. Bentuk *airfoil* mampu menciptakan perbedaan tekanan antara permukaan atas dengan permukaan bawah sayap. Permukaan sayap bagian bawah lebih kecil dibandingkan permukaan bagian atas sehingga kecepatan aliran dibawah sayap lebih rendah. Hal ini yang menyebabkan tekanan dibawah sayap lebih besar sehingga timbul gaya *lift*.

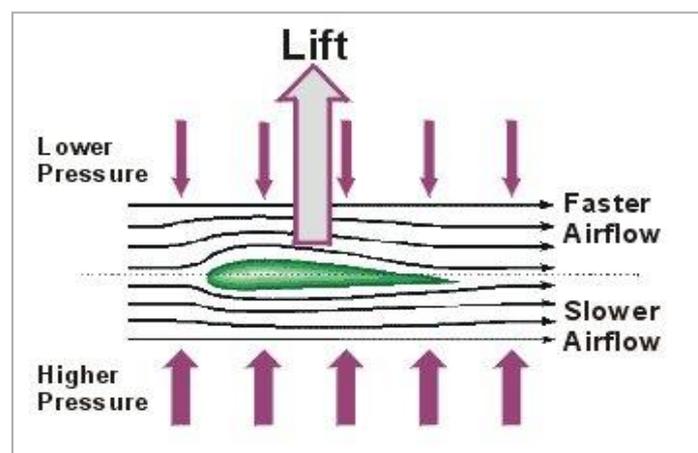
Salah satu cara untuk meningkatkan *lift* adalah pesawat harus memiliki bentuk yang aerodinamis terutama pada bagian sayap. Bentuk aerodinamis yang dimaksud adalah suatu bentuk yang apabila dilewati udara, maka udara tersebut akan mengalir sejajar dengan bentuk tersebut. Aliran udara seperti itulah yang diharapkan untuk menghasilkan gaya angkat yang maksimal. Untuk menambah gaya *lift* pada sayap, dapat digunakan suatu alat yang dinamakan *High Lift Devices*, salah satunya yaitu *winglet*. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas analisa karakteristik aerodinamika dengan penambahan variasi bentuk *blended winglet* terhadap sayap jenis *tapered wing* dengan NACA 2412. Model sayap *tapered wing* digunakan pada sayap pesawat Boeing 737-400 yang merupakan salah satu pesawat angkut VIP TNI AU. Sampai dengan saat ini pesawat Boeing 737-400 milik TNI AU tidak menggunakan *winglet* sebagai HLD, maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk memberi penjelasan tentang manfaat penambahan *blended winglet* pada sayap jenis *tapered wing* yang jika diaplikasikan pada pesawat Boeing 737-400 diharapkan akan menambah performa dari pesawat tersebut.

II. LANDASAN TEORI

Aerodinamika adalah dinamika dari zat gas terutama interaksi antara udara di atmosfer dengan objek yang bergerak. Aerodinamika sangat erat hubungannya dengan pesawat. Pesawat bisa terbang karena adanya gaya aerodinamika yang terjadi pada pesawat. Ilmu ini memiliki peran besar dalam hal mendesain sebuah pesawat terbang, baik dalam perhitungan performa, maneuver, prediksi gaya dan momen, penentuan aliran melalui saluran tertutup dan hal-hal mendetail lainnya. Dapat dikatakan bahwa aerodinamika adalah ilmu yang kompleks [1].

A. Lift (gaya angkat)

Lift adalah gaya ke atas pada sayap yang disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan pada permukaan atas sayap dan permukaan bawah sayap, dimana tekanan pada permukaan atas lebih kecil dari pada tekanan di bawah sayap sehingga gaya ke atas lebih dominan pada sayap. Yang mempengaruhi perbedaan gaya tersebut adalah kecepatan udara, tekanan udara dan faktor yang tidak kalah penting adalah luas permukaan sayap (surface area).



Gambar 1. Gaya lift pada airfoil.

B. Drag (gaya hambat)

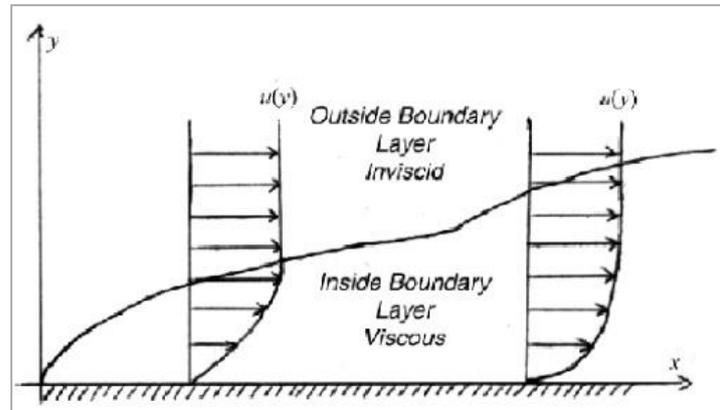
Drag merupakan gaya *negative* yang menghambat laju benda saat melintasi suatu aliran fluida. Dalam gaya *drag* sendiri terdiri dari beberapa jenis, yaitu:

- 1) *Parasite Drag*. Merupakan gaya yang ditimbulkan oleh bagian-bagian yang tidak menimbulkan gaya angkat seperti *nose*, *body*, dan *fin*.
- 2) *Induced Drag*. Merupakan gaya hambat yang dibentuk oleh komponen penghasil gaya lift pada *missile*.
- 3) *Wave Drag*. Merupakan gaya hambat yang terbentuk pada kecepatan *supersonic* karena munculnya *shockwave* (gelombang kejut).

C. Boundary Layer (lapisan batas)

Dengan adanya gesekan permukaan maka pada setiap aliran udara yang mengalir melalui benda lain akan menyebabkan adanya perubahan kecepatan pada lapisan udara dari kecepatan yang paling kecil sampai pada suatu lapisan yang kecepatannya maksimum. Ketebalan dari lapisan udara yang mempunyai perbedaan kecepatan ini pada setiap permukaan mempunyai

ketebalan yang berbeda-beda. Batas dari lapisan udara yang mengalir melalui sebuah benda dengan kecepatan lapisan udara dari yang terkecil sampai suatu daerah yang mempunyai kecepatan lapisan yang maksimum disebut *boundary layer*.



Gambar 2. *Boundary Layer*.

D. *Winglet*

Adalah salah satu aksesoris pada sayap pesawat yang memungkinkan penambahan performansi sayap tanpa harus memperlebar *wingspan* (bentangan sayap pesawat). *Winglet* dapat berupa sirip tambahan yang dipasang tegak lurus pada ujung sayap, atau dapat berupa perpanjangan sayap yang ditekuk ke arah vertikal. *Winglet* berfungsi untuk meredam putaran udara (*vortex*) pada bagian ujung sayap yang disebabkan pertemuan udara bagian bawah sayap yang bertekanan tinggi dengan udara bagian atas sayap yang bertekanan rendah yang menyebabkan terjadinya *trailing vortex*.¹

Winglet mengurangi *vortex wingtip*, tornado kembar yang dibentuk oleh perbedaan antara tekanan di permukaan atas sayap pesawat dan di permukaan bawah. Tekanan tinggi di permukaan bawah menciptakan aliran udara alami yang membuat jalan ke ujung sayap dan ke permukaan atas. Ketika mengalir di sekitar *wingtip*, udara mengalir di belakang pesawat, sehingga pusaran terbentuk. *Twister* ini mewakili kehilangan energi dan cukup kuat untuk membalikkan pesawat yang meleset ke dalamnya.

Winglet menghasilkan peningkatan kinerja yang sangat baik untuk jet dengan mengurangi hambatan, dan pengurangan itu dapat diterjemahkan ke dalam kecepatan jelajah yang sedikit lebih tinggi. Tetapi sebagian besar operator mengambil keuntungan dari pengurangan *drag* dengan mengurangi kecepatan normal dan mengantongi penghematan bahan bakar.

Beberapa maskapai menggunakannya. Airbus A319 dan A320 memiliki sayap atas dan bawah yang sangat kecil. Mesin A330 *twin-engine* yang lebih panjang dan empat mesin A340 memiliki sayap konvensional, seperti halnya Boeing 747-400. *Aviation Partners*, sebuah perusahaan Seattle, Washington, memiliki desain baru yang disebut sebagai *winglet* "campuran".

Pada tahun 1976, tak lama setelah krisis energi mengirim harga bahan bakar ke langit, Richard Whitcomb, seorang ahli aerodinamika NASA, menerbitkan sebuah makalah yang membandingkan sayap dengan *winglet* dengan sayap yang sama tetapi tanpa *winglet* dengan perpanjangan sederhana untuk meningkatkan jangkauannya. Sebagai dasar untuk membandingkan kedua perangkat, ekstensi dan sayap berukuran sehingga keduanya menahan beban struktural yang sama pada sayap. Whitcomb menunjukkan bahwa *winglet* mengurangi *drag* sekitar 20 persen dan menawarkan peningkatan dua kali lipat dalam rasio *lift-ke-drag* sayap, dibandingkan dengan ekstensi sayap sederhana.

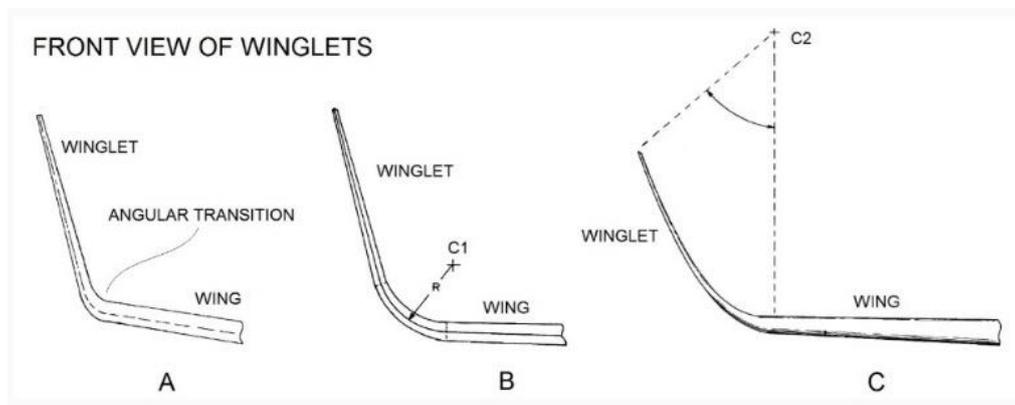
E. *Blended Winglet*

Adalah *winglet* yang berupa perpanjangan dari sayap dan ditekuk ke arah atas sayap. Sebuah *blended winglet* melekat pada sayap dengan bukan dengan sudut tajam melainkan kurva halus dan dimaksudkan untuk mengurangi hambatan interferensi pada sayap / persimpangan *winglet*. Sudut interior yang tajam pada bagian ini dapat berinteraksi dengan aliran lapisan pembatas yang menyebabkan hambatan mendorong *vortex*, meniadakan beberapa manfaat dari *winglet*.²*Blended winglet* menyediakan wilayah transisi antara sayap tempel, yang biasanya dirancang untuk tip polos, dan sayap. Tanpa daerah transisi ini, sayap luar akan membutuhkan desain ulang aerodinamis untuk memungkinkan interferensi antara sayap dan permukaan sayap.

III. MODEL YANG DIUSULKAN

A. *Arsitektur Model Secara Umum*

Penelitian ini menggunakan sayap jenis tapered wing airfoil NACA 2412, yang akan dibandingkan pada lima kondisi yang berbeda yang pertama yaitu sayap tanpa winglet, kedua sayap dengan penambahan winglet luas 8,5% sudut 90°, ketiga sayap dengan penambahan winglet luas 8,5% sudut 45°, keempat sayap dengan penambahan winglet luas 3,85% sudut 90°, dan kelima sayap dengan penambahan winglet luas 3,85% sudut 45°. Winglet yang digunakan berbentuk blended winglet karena bentuk ini adalah yang paling umum digunakan pada pesawat angkut berat modern saat ini. Proses pembuatan dan pelaksanaan pengujian dilaksanakan menggunakan alat uji *Low Subsonic Wind Tunnel*. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Aerosistem Departemen Aeronautika Akademi Angkatan Udara.



Gambar 3. Desain Model Sayap dengan *Blended Winglet*

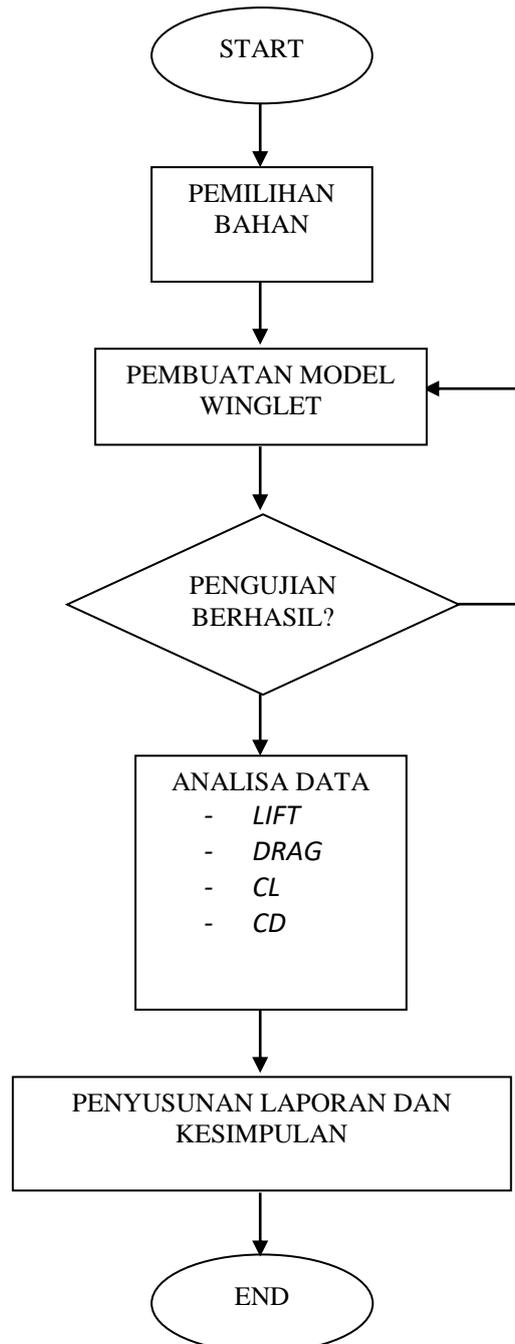
B. *Variabel Penelitian*

1. Variabel bebas:
 - a) Penambahan *blended winglet*
 - b) Sudut serang
 - c) Kecepatan angin
2. Variabel bebas:

- d) Koefisien *lift*
- e) Koefisien *drag*
- f) Sudut *stall*

C. Instrumen Penelitian

1. Komputer atau laptop
2. Model sayap tapered wing NACA 2412
3. *Low Subsonic Wind Tunnel*



Gambar 4. Diagram alir.

IV. IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilaksanakan dengan menggunakan *Low Subsonic Wind Tunnel*. Data yang didapat antara lain parameter tekanan permukaan statis, besar gaya *lift*, dan besar gaya *drag*. Adapun karakteristik model sayap antara lain:

- 1) *Wing span* : 0,227 m
- 2) Luas sayap : 0,01816 m²
- 3) *Airfoil* : NACA 2412

Pengujian pada kelima model dilakukan dengan variasi *angle of attack* untuk melihat pengaruhnya terhadap perubahan sudut *stall* yang dicapai. Berikut merupakan model sayap yang telah dibuat dan kemudian akan dilaksanakan pengujian:



Gambar 5. Model sayap tapered wing dan variasi *blended winglet*

Hasil analisis yang dilakukan menggunakan metode menghasilkan data berupa *lift* dan *drag* pada setiap variasi *angle of attack* dari kedua model uji yang digunakan. Data hasil analisis yang dilakukan pada *Low Subsonic Wind Tunnel* disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 1. Hasil analisis *tapered wing* tanpa penambahan winglet

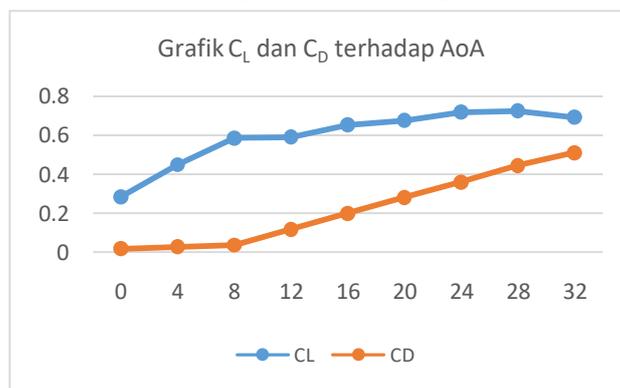
| AoA | V= 14 m/s | | V= 16 m/s | | V= 18 m/s | |
|-----|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | L | D | L | D | L | D |
| 0 | 0,54 | 0,04 | 0,67 | 0,04 | 0,99 | 0,05 |
| 4 | 0,80 | 0,04 | 1,18 | 0,04 | 1,57 | 0,08 |
| 8 | 0,95 | 0,07 | 1,43 | 0,06 | 2,05 | 0,11 |
| 12 | 0,96 | 0,19 | 1,44 | 0,26 | 2,07 | 0,38 |
| 16 | 0,97 | 0,31 | 1,55 | 0,46 | 2,29 | 0,65 |
| 20 | 1,12 | 0,42 | 1,63 | 0,57 | 2,37 | 0,92 |
| 24 | 1,22 | 0,54 | 1,68 | 0,77 | 2,52 | 1,18 |
| 28 | 1,27 | 0,63 | 1,70 | 0,84 | 2,54 | 1,46 |
| 32 | 1,21 | 0,72 | 1,63 | 1,10 | 2,42 | 1,68 |

Tabel 2 Data hasil pengukuran pada model sayap jenis *tapered wing* dengan *winglet* 45° luas 8,5%

| AoA | V= 14 m/s | | V= 16 m/s | | V= 18 m/s | |
|-----|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | L | D | L | D | L | D |
| 0 | 0,66 | 0,01 | 1,00 | 0,06 | 1,48 | 0,09 |
| 4 | 1,07 | 0,03 | 1,69 | 0,08 | 2,26 | 0,09 |
| 8 | 1,13 | 0,11 | 1,72 | 0,14 | 2,48 | 0,18 |
| 12 | 1,22 | 0,32 | 1,89 | 0,49 | 2,63 | 0,67 |
| 16 | 1,24 | 0,41 | 1,92 | 0,64 | 2,70 | 0,91 |
| 20 | 1,33 | 0,57 | 2,00 | 0,84 | 2,89 | 1,23 |
| 24 | 1,41 | 0,70 | 2,10 | 1,02 | 2,98 | 1,47 |
| 28 | 1,41 | 0,80 | 2,17 | 1,21 | 3,03 | 1,76 |
| 32 | 1,34 | 0,99 | 2,06 | 1,41 | 2,98 | 2,07 |

A. Koefisien Lift dan Drag terhadap Angle of Attack pada Sayap Tanpa Winglet

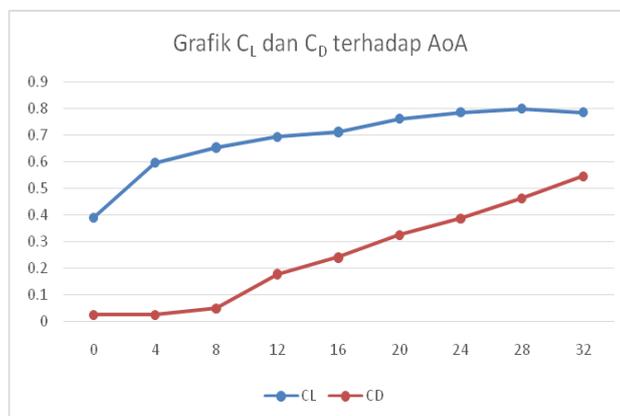
Menurut Whitcomb, penggunaan *blended winglet* mampu mengatasi vortex wingtip dan turbulensi. Gambar 6 berikut merupakan grafik koefisien lift terhadap variasi *angle of attack*:



Gambar 6. Grafik C_L dan C_D vs AoA tanpa penambahan winglet

Berdasarkan pada gambar, sesuai dengan teori bahwa nilai CL akan meningkat seiring bertambahnya *angle of attack*. ketika *angle of attack* meningkat, akan terjadi separasi aliran udara yang semula laminar menjadi turbulensi dan menyebabkan lift turun, inilah yang dinamakan *stall*.

B. Koefisien Lift dan Drag terhadap Angle of Attack dengan Penambahan Winglet 8,5% sudut 45°(Gambar 7)



Gambar 7. Grafik C_L dan C_D vs AoA dengan penambahan winglet paling efektif

Dari hasil tersebut terlihat bahwa secara umum model sayap dengan penambahan *winglet* memiliki efisiensi aerodinamik lebih baik. Pemasangan *winglet* dapat menambah *lift* pada suatu sayap. Dalam hal ini model sayap dengan *blended winglet* dengan luas 8,5% dan sudut kemiringan 45° memiliki keefektifan dari segi kemampuan menghasilkan gaya angkat. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengolahan data, menunjukkan bahwa penambahan *winglet* pada model uji ini di beberapa *angle of attack* mampu menghasilkan efisiensi aerodinamik yang lebih baik, dengan beberapa kemungkinan:

1. Luas sayap yang lebih besar
2. Kemiringan sudut yang disesuaikan dengan bentuk sayap
3. Kesesuaian terhadap NACA yang digunakan

Akan lebih baik dilakukan penelitian lebih lanjut dan menyeluruh dengan penggunaan alat uji *Digital Low Subsonic Wind Tunnel*

V. KESIMPULAN

Setelah pelaksanaan penelitian ini ditemukan beberapa hal yang akan dijadikan sebagai kesimpulan yaitu penggunaan *blended winglet* dapat meningkatkan koefisien *lift* maksimum pada model sayap NACA 2412 dari 0,724 dengan model sayap *tapered wing* tanpa penambahan *winglet* menjadi 0,797 dengan penambahan *winglet* luas 8,5% dan kemiringan sudut 45°. Oleh karena itu, penambahan *winglet* terbukti mampu mengatasi *vortex wingtip* dan meningkatkan gaya *lift*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bent, RD, McKinley. 1980. *Aircraft Basic Science*. New York: McGraw-Hill Book Company
- [2] Farhan, Almer Ibnu. 2012. *Koefisien Drag terhadap Pola Aliran Eksternal*. <http://almer-farhan.blogspot.com/2012/05/koefisien-drag-cd-terhadap-pola-aliran.html>. 4 Oktober 2018
- [3] Fauzi, Mahmud. 2018. *Analisa Aerodinamika Model Sayap dengan Penggunaan Winglets Menggunakan Water Tunnel*. Teknik, Mesin, Universitas Gadjah Mada
- [4] Freitag, William and Terry Schulze. 2009. *Blended Winglet Improve Performance*. http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_03_09/article_03_1.html. 3 Oktober 2017
- [5] Haryadi, Setyo. 2016. *Studi Numerik Efek Perbandingan Penambahan Wingtip Fence dan Blended Winglet Terhadap Performa Aerodinamika Airfoil NACA 23018*. Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)
- [6] Larson, George C. 2001. *How Things Work: Winglets*. <https://www.airspacemag.com/flight-today/how-things-work-winglets-2468375/>. 3 Oktober 2018
- [7] Nawawi, Muhammad. 2015. *Teori Dasar Koefisien Lift*. <http://www.tmu11.blogspot.com/2015/03/teori-dasar-koefisien-lift.html>. 3 Oktober 2018
- [8] Raharjo, Panggih. 2010. *Terminologi Airfoil*. <https://www.panggih15.wordpress.com/2010/01/28/terminologi-airfoil/>. 2 Oktober 2018.
- [9] Taufan, Muhammad. 2011. *Winglet pada Pesawat Terbang*. <http://www.rider-system.net/2011/10/winglet-pada-pesawat-terbang.html>. 3 Oktober 2018
- [10] Wikipedia. 2018. *Pesawat Terbang*. https://www.id.Wikipedia.org/wiki/Pesawat_terbang. 4 Oktober 2018.
- [11] Wiratama, Caesar. 2016. *Lift dan Drag Pesawat Terbang*. <http://www.Aeroengineering.co.id/2016/01/lift-dan-drag-sayap-pesawat-terbang/>, 3 Oktober 2018

Letda Tek Anggito Bagus Satrio Asmoro, S.Tr(Han), adalah lulusan Akademi Angkatan Udara (AAU) tahun 2019. Gelar Sarjana Terapan Pertahanan (S.Tr(Han)) diraih di Akademi Angkatan Udara Yogyakarta tahun 2019 dengan predikat *Sangat Memuaskan* di Majoring Aeronautika. Penulis saat ini berdinis sebagai Perwira Siswa Kursus Intensif Bahasa Inggris di Akademi Angkatan Udara.