

Perancangan Wingtip Device Pesawat N-219 Untuk Meningkatkan Efisiensi Sayap

Oleh :
Agus Aribowo*
Sinung Tirtha Pinindriya*
Teuku Ichwanul Hakim*
Ardanto M. Pramutadi*

Abstrak

Pesawat N-219 adalah pesawat angkut ringan yang dirancang oleh PT.DI yang memiliki kemampuan STOL pada ketinggian 5,000 ft dengan jarak pendek. Rancangan dasar dari pesawat N-219 tidak menggunakan wingtip device. Pada penelitian ini akan diuji berapa besar peningkatan efisiensi sayap akibat aplikasi wingtip device. Karena pada wing tip yang konvensional efisiensi sayap akan berkurang dari desainnya. Oleh karena itu akan diuji beberapa desain wingtip device untuk model sayap pesawat N-219, yang dalam penelitian ini pemilihan wingtip device yaitu winglet dan wing extension dengan menggunakan simulasi numerik CFD untuk analisisnya sedang untuk desain gambar dengan menggunakan CAD. Dengan ditambahkan wingtip device dapat mengurangi masalah yang terjadi pada wingtip yaitu vortex, sehingga dapat meningkatkan efisiensi sayap.

Kata kunci: N-219, Wingtip Device, CFD

Abstrak

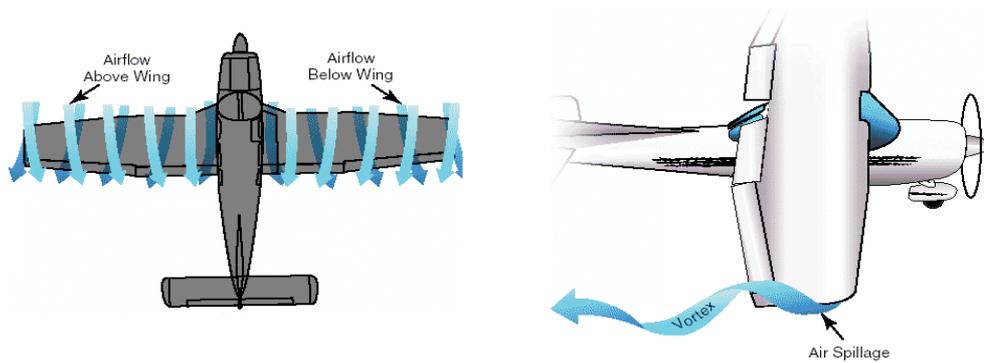
N-219 aircraft is a light transport aircraft designed by PT.DI with STOL capabilities at an altitude of 5.000 ft with short distances. The basic design of the aircraft N-219 does not use the wingtip device. This research will test how much of the increase in the efficiency of the wing due to wingtip device applications. Because the conventional wing tip wing efficiency will be reduced from its design. Therefore, it will be tested several designs wingtip devices for aircraft wing model N-219, which in this study is the selection of wingtip devices winglet and wing extensions using CFD numerical simulation for the analysis was to design drawings using CAD. With added wingtip devices can reduce the problems that occur in the wingtip vortex, thus increasing the efficiency of the wing.

Keyword: N-219, Wingtip Device, CFD

1. PENDAHULUAN

Sayap pesawat terbang dirancang sedemikian rupa untuk menghasilkan gaya angkat yang mencukupi untuk setiap misi penerbangannya. Profil yang membentuk sayap pesawat dinamakan sebagai airfoil. Airfoil bekerja dengan cara memanfaatkan kecepatan udara untuk merubah tekanan yang berada dipermukaan atas dan bawah sayap. Tekanan yang berada di permukaan bawah sayap dibuat lebih tinggi dan tekanan di permukaan atas sayap dibuat menjadi lebih rendah. Perbedaan tekanan yang terjadi pada permukaan sayap inilah yang menghasilkan gaya angkat pada sayap pesawat. Besarnya gaya angkat yang terjadi dipengaruhi oleh perbedaan tekanan yang merupakan akibat dari perubahan kecepatan aliran udara. Pada sayap 3 dimensi, perbedaan tekanan antara permukaan atas dan permukaan bawah sayap menghasilkan masalah pada daerah *wingtip*, yaitu terbentuknya *vortex* karena tekanan udara yang berada dipermukaan bawah sayap lebih tinggi dibandingkan dengan yang dipermukaan atas sayap. Sehingga aliran udara akan berusaha naik dari bawah ke atas (Gambar 1.1) Efek negatif yang ditimbulkan oleh adanya *vortex* pada sayap adalah berkurangnya area efektif sayap karena berkurangnya efektifitas span.

* Pusat Teknologi Penerbangan-LAPAN



Gambar 1.1. Aliran udara pada sayap pesawat

Efektifitas span berkurang karena *vortex* mempengaruhi aliran di *wingtip* sehingga aliran udara yang lewat *wingtip* mengakibatkan upwash dan downwash yang mengakibatkan aliran tidak sejajar dengan dengan arah *freestream*. Aliran tersebut memberikan pengurangan pada *angle of attack* di *wingtip* dan menambah drag akibat dari resultan gaya aliran udaranya. Hal tersebut membuat sayap kehilangan efektifitas untuk menghasilkan lift dan drag bertambah sehingga jarak dan lama terbang berkurang. Untuk mengurangi kekuatan dari *tip vortex* yang dapat mengurangi efeknya terhadap sayap dapat dilakukan dengan menambah span dan merubah *taper ratio* sayap. Dengan menambah span dengan merubah *aspect ratio*, sayap akan mendekati karakter sayap 2D. Span yang lebih panjang akan menjauhkan efek *tip vortex* dari bagian lain sayap sehingga daerah yang terpengaruh menjadi lebih kecil. Namun dengan menambah span harus dipertimbangkan pula *strength-to-weight ratio* dari material yang digunakan. Penambahan span juga berpengaruh pada berat sayap, kapasitas bahan bakar pada sayap dan drag sayap itu sendiri. Mengubah taper ratio sayap akan mengurangi kekuatan *tip vortex* yang terjadi di ujung sayap. Dengan membentuk planform sayap agar memiliki distribusi lift eliptik akan mengurangi induced drag yang timbul. Caranya dengan membuat planform memiliki kurva yang halus sepanjang spannya. Namun hal tersebut akan menambah kesulitan produksi sayap. Menurut Daniel P. Raymer dengan menggunakan taper ratio 0.45 pada sayap dengan planform trapezoid akan memiliki distribusi lift yang mendekati eliptik.

Cara lain yang dapat digunakan untuk mengurangi efek *tip vortex* adalah dengan memberikan perlakuan pada *wingtip*. Perlakuan pada wing tip dapat berupa menambahkan sebuah alat pada wing tip untuk mengurangi induced drag atau dengan merancang wing tip dengan geometri yang berbeda. Contohnya dengan menggunakan wingtip device atau dengan merancang geometri *wingtip* dengan aspect ratio yang berbeda.

Ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan wingtip device ini, diantaranya adalah:

1. Pengurangan penggunaan bahan bakar
2. Peningkatan jarak
3. Pengurangan take off field length dengan meningkatkan RoC
4. Peningkatan ketinggian cruise
5. Peningkatan kecepatan cruise

Sedangkan disisi lain ada juga kerugian yang diakibatkan penggunaan wingtip device ini, diantaranya adalah:

1. Peningkatan biaya pengembangan
2. Peningkatan resiko pengembangan

Pada prakteknya tidak semua pesawat menggunakan *wingtip device*. Konsep ini sendiri pun masih banyak menimbulkan pro dan kontra. Ada pihak yang berargumen bahwa hanya dengan merancang sayap dengan baik mereka tidak perlu menambah sebuah alat di *wingtip* untuk mengatasi masalah yang terjadi. Pada penelitian ini difokuskan pada sayap pesawat N-219 yang sekarang ini dikembangkan oleh PT Dirgantara Indonesia, pesawat N-219 adalah pesawat angkut ringan yang dirancang oleh PT.DI yang memiliki kemampuan STOL pada ketinggian 5,000 ft. Rancangan dasar dari pesawat N-219 tidak menggunakan wingtip device.

Adapun tujuan dan sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

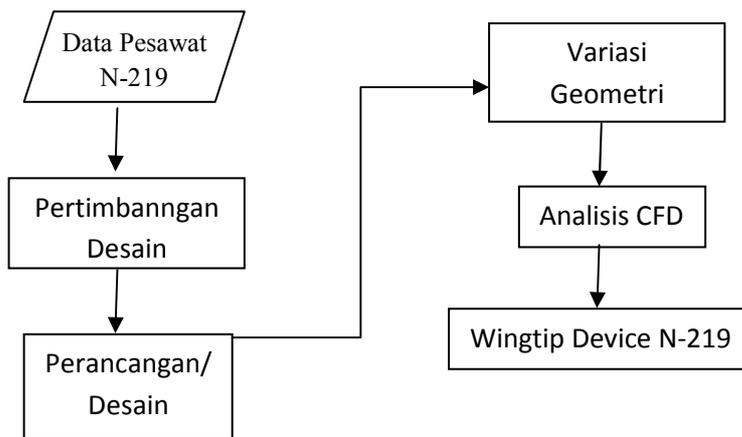
Tujuan dilakukannya kegiatan ini adalah untuk:

- Melakukan karakteristik aerodinamika wingtip device
- Melakukan simulasi numerik dengan menggunakan CFD
- Mendapatkan efisiensi sayap dengan adanya penambahan wingtip device

Dengan sasaran yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- Untuk mendapatkan karakteristik aerodinamika wingtip device untuk sayap N-219
- Untuk meningkatkan efisiensi sayap N-219
- Memperbaiki prestasi terbang pesawat N-219

2. METODOLOGI



3. TINJAUAN PUSTAKA

Sejarahnya dimulai ketika pada tahun 1879 F.W. Lanchester menemukan bahwa sayap menghasilkan pusaran-pusaran dibelakang yang dapat mempengaruhi aliran di *wingtip*. Untuk mengatasi hal tersebut beliau mematenkan sebuah temuan berupa *endplate* yang terpasang pada *wingtip*. Namun pada prakteknya penggunaan *endplate* tidak memberikan hasil yang sebelumnya diharapkan. Pemasangan *endplate* memberikan *viscous drag* yang lebih besar dari pada efek yang dihasilkannya untuk mengurangi terbentuknya *tip vortex*.

Kemudian pada tahun 1974 hingga 1976 Richard T. Whitcomb mengajukan konsep winglet yang kemudian dievaluasi dan diuji di NASA. Winglet bekerja dengan menghasilkan gaya aerodinamik yang mendefleksikan udara dari *tip vortex*. Sehingga udara yang melewati *wingtip* menjadi lebih searah dengan freestream. Menurut Whitcomb winglet dapat dikatakan juga sebagai *vortex diffuser*. Hingga saat ini *wingtip device* semakin banyak digunakan dan tipenya bertambah.

Disamping itu terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi dalam penggunaan wingtip device, yaitu:

Faktor positif :

1. Berkurangnya induced drag pada fase takeoff dan cruise akibat dari melemahnya *wingtip vortex*
2. Pada rezim kecepatan transonic, penggunaan wing tip device akan sedikit mengurangi wave drag akibat adanya shock wave

Faktor negatif :

1. Meningkatnya profile drag karena adanya tambahan *wing tip device*
2. Meningkatnya berat total untuk menahan beban *wing tip device*

3.1. Type Wingtip Device

Sebelum melakukan pemilihan ada beberapa tipe wingtip device yang telah diaplikasikan pada berbagai macam pesawat untuk meningkatkan efisiensi sayap, yaitu

a. Endplates

Endplates merupakan plat yang diletakkan pada wing tip. Bentuknya simetri antara bagian yang berada di atas permukaan sayap maupun yang dibawah. Pada prakteknya wing tip device tipe ini tidak

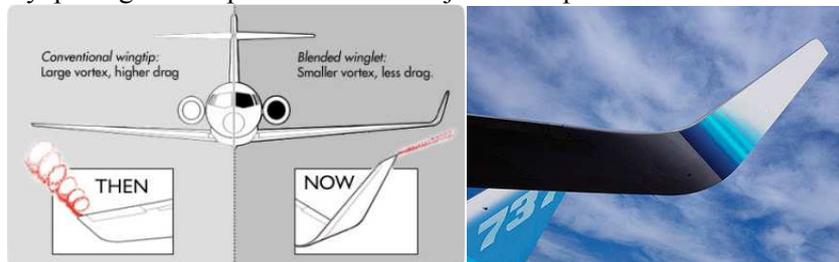
memberikan efek positif yang besar karena efek pengurangan tip vortexnya tidak sebanding dengan drag yang ditimbulkan oleh profile dari endplate itu sendiri.



Gambar 3.1. Endplates

b. Winglet

Merupakan sayap kecil tambahan pada wing tip yang terpasang vertikal terhadap horizon lokal. Winglet sendiri memiliki beberapa konfigurasi bergantung pada aspect ratio winglet, tinggi winglet, sudut sweep, dan sudut pasang terhadap horizon lokal (wingtip hedral). Winglet mengurangi pengaruh tip vortex pada sayap dengan memperlambat dan menjauhkan tip vortex dari daerah efektif sayap



Gambar 3.2. Winglet (sumber <http://kedirgantaraan.blogspot.com>)

c. Hoerner tips

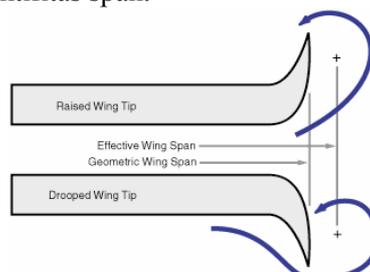
Bentuk dari bagian bawah wing tip dibentuk kurva kearah dalam sepanjang chord wing tip. Kurva tersebut akan mengarahkan aliran kearah luar wing tip, sehingga tip vortex akan terbentuk sedikit lebih jauh kearah luar wing tip yang pada akhirnya akan mengembalikan span efektif sayap. Secara umum wing tip tipe ini sedikit lebih baik dibandingkan dengan wingtip konvensional.



Gambar 3.3. Hoerner tips (sumber <http://www.newplane.com>)

d. Upswept atau drooped tips

Kedua tipe wing tip ini merupakan pengembangan dari tipe hoerner. Perbedaannya terdapat pada kedua tipe ini wing tip ditekuk ke atas atau ke bawah untun memberikan efek yang lebih signifikan dalam meningkatkan efektifitas span.



Gambar 3.4. Upswept dan Drooped tips (Raymer, Daniel.P, "Aircraft Design: A Conceptual Approach")

e. Wing grid

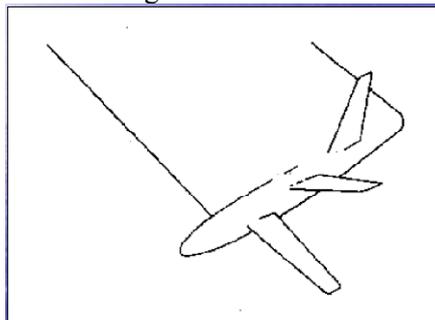
Pada konfigurasi ini wing tip dipasang kisi-kisi dengan profil airfoil sehingga sirkulasi yang terjadi berada diluar area wing tip dan kekuatannya telah berkurang. Induced drag dapat berkurang hingga 60% namun masalahnya ada pada konstruksi dari sayap yang harus dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menahan struktur yang cukup rumit pada wing tip.



Gambar 3.5. Wing grid (sumber <http://winggrid.ch>)

f. Sail tips

Merupakan konfigurasi wing tip yang terdiri dari beberapa sayap kecil pada wing tip dengan aspect ratio tinggi dan tersusun searah chord dengan sudut hedral yang berbeda. Bentuk ini sama rumitnya dengan konfigurasi sebelumnya meskipun memiliki keuntungan dari kecilnya interaksi transonic dan viskositas pada daerah sambungan



Gambar 3.6. Sail tip (sumber Kroo, *Ilan Drag due to Lift: Concept for Prediction and Reduction*)

g. Wing tip extension

Wing tip extension merupakan penambahan panjang sayap pada bagian tip sayap. Tujuan dari penambahan span sayap ini adalah menjauhkan tip vortex dari daerah efektif span. Umumnya wing tip extension dirancang dengan aspect ratio dan sudut hedral yang berbeda dengan sayap. Sehingga tip vortex yang terbentuk juga menjadi lebih lemah. Namun perlu dipertimbangkan pula bahwa dengan menambah span maka bending momen yang terjadi pada sayap juga akan bertambah sehingga perlu diperhitungkan tradeoffnya. Bila dibandingkan dengan winglet dengan mengabaikan faktor struktur maka wing tip extension memberikan hasil yang serupa dengan winglet dalam hal mengurangi pengaruh dan kekuatan tip vortex.

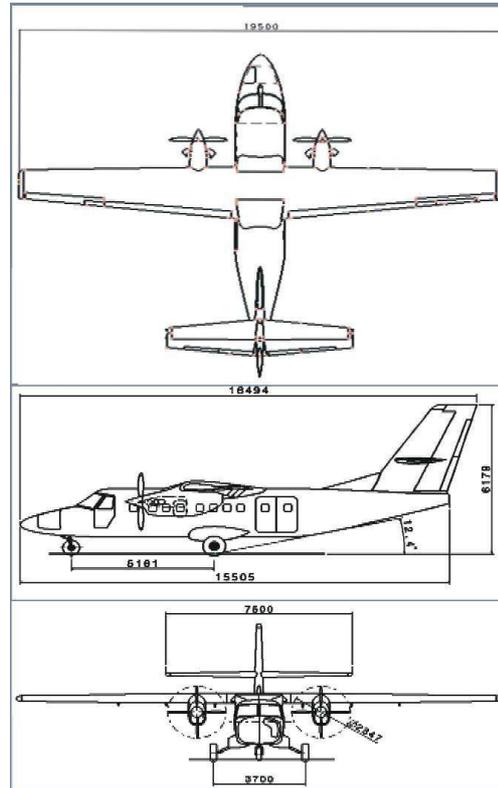


Gambar 3.7. Wingtip extension

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data N-219

- Karakteristik umum
 - Berat kosong : 9,449 lb (4,286 kg)
 - Berat kotor : 15,498 lb (7,030 kg)
- Prestasi terbang
 - Kecepatan Cruise : 213 kn (394 km/h)
 - Kecepatan Stall : 61 kn (30 km/h)
 - Jarak : 600 nmi (1,100 km)
 - Jarak ferry : 1,580 nmi (2,930 km)
 - Rate of climb (RoC) : 2,300 ft/min (12 m/s)



Gambar 3.8. Gambar tiga pandangan N-219 (Sumber PT DI)

4.2. Pertimbangan Desain

Untuk pemilihan awal, pertimbangan yang digunakan adalah pesawat pembanding. Akan dilihat wing tip device yang digunakan oleh pesawat pembanding. Pesawat pembanding yang dipilih adalah pesawat dengan karakteristik serta fungsi yang sama dengan N-219. Berikut merupakan pesawat pembanding yang dipilih:

Tabel 1. Pesawat Pembanding

Nama Pesawat	Tipe Wing tip	Tipe HLD
PZL M28 Skytruck	Rounded/wing tip extension	Double slotted
de Havilland Canada DHC-6 Twin Otter	Rounded	Double slotted
Antonov An-28	Rounded	Double slotted
Beechcraft 1900	Winglet	Single slotted
Dornier Do-228	Wing tip extension	Single slotted fowler
Embraer EMB 110	Rounded	Double slotted fowler
Harbin Y-12	Wing tip extension	Single slotted fowler

Setelah melihat perbandingan pesawat pada tabel 1. Dapat disimpulkan bahwa sebagian besar pesawat pembanding menggunakan rounded tip dan extended wing tip. Penggunaan rounded tip merupakan penggunaan wing tip device yang paling dasar, dalam hal ini artinya wing tip tipe ini merupakan tipe yang standar dan belum ditingkatkan. Jadi rounded wing tip akan dijadikan titik tolak dalam perancangan wing tip device untuk N-219

Dalam proses perancangan ini akan dipilih dua tipe yang kemudian akan dijadikan rekomendasi. Kedua tipe yang dipilih tersebut adalah:

1. Winglet
2. Wingtip extension

4.3. Hasil Perancangan

Untuk memulai prosesnya dilakukan secara eksperimental dengan cara memvariasikan kedua tipe wing tip device yang telah dipilih sebelumnya. Wing tip device akan divariasikan berdasarkan :

1. Span

2. Hedral

Ada pun batasan-batasan yang diberikan kepada rancangan wing tip device berupa :

1. Batasan tinggi vertikal dari wing tip device terhadap sayap.
2. Batasan span wing tip device
3. Batasan tinggi sayap dari muka tanah

Pada umumnya airfoil yang digunakan merupakan airfoil yang tipis dengan t/c rendah. Pemilihan airfoil dirancang agar wing tip device tidak memberikan harga profile drag yang besar. Untuk pemilihan airfoil akan dilakukan dengan cara studi literatur. Beberapa jenis airfoil yang telah digunakan untuk wing tip device merupakan airfoil dengan t/c rendah. Airfoil tersebut merupakan hasil modifikasi dari airfoil yang telah ada.

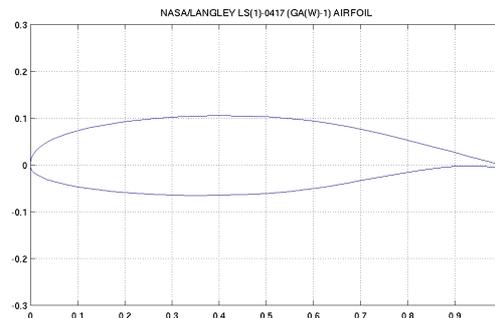
Beberapa pilihan yang dapat diambil dalam pemilihan airfoil untuk wing tip device yang akan digunakan dalam proses perancangan ini adalah :

1. Memodifikasi airfoil yang telah digunakan untuk sayap,
2. Menggunakan airfoil simetri dengan t/c rendah, atau
3. Menggunakan airfoil yang digunakan oleh pesawat berkecepatan rendah seperti airfoil seri PSU yang dirancang untuk winglet.

Pilihan tersebut diambil karena setelah studi literatur diketahui bahwa desain dari wing tip device tidak menyebutkan secara spesifik kriteria pemilihan dan pilihan airfoilnya. Sehingga perlu diambil pilihan seperti diatas.

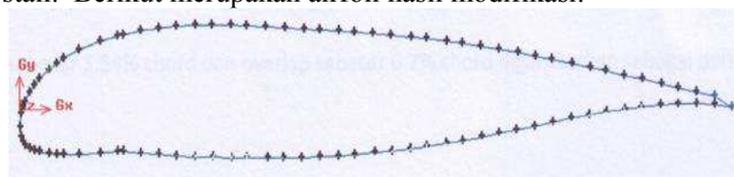
Memodifikasi airfoil yang digunakan oleh sayap untuk digunakan pada wing tip device memerlukan beberapa pertimbangan. Diantaranya adalah karakteristik airfoil pada bilangan Reynolds rendah. Karakteristik airfoil yang dicari adalah airfoil yang dapat menunda terjadinya separasi pada bilangan Reynolds rendah.

- Tipe airfoil sayap (base) : LS(1)-0417 MOD



Gambar 3.9. Airfoil LS(1)-0417

Airfoil yang digunakan merupakan airfoil LS(1)-0417 MOD artinya airfoil tersebut dimodifikasi dari airfoil awalnya. Modifikasi yang dilakukan berupa menurunkan leading edgw airfoil agar membentuk droop. Hal itu dilakukan untuk memberikan efek Leading Edge High Lift Device untuk menunda terjadinya stall. Berikut merupakan airfoil hasil modifikasi:



Gambar 3.10. Airfoil LS(1)-0417 Modifikasi

4.4. Pembahasan

Dalam perancangan ini akan digunakan juga model pembanding sayap yang diberi wing tip device dari kedua konfigurasi wing tip device sebagai model pembanding perubahan geometri sayap. Model tersebut akan memiliki geometri seperti berikut:

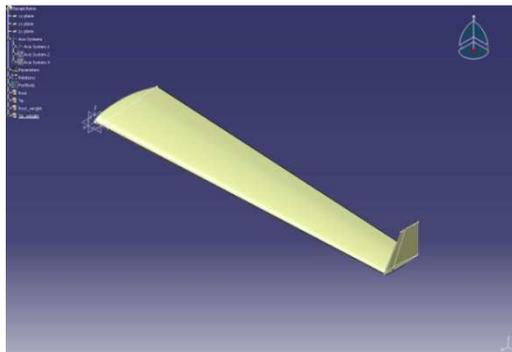
Tabel 2 Tabel geometri winglet

Base model Winglet		
b1/2	1	m
λ	0.5	
cr	1.18	m
ct	0.59	m
$\Lambda 0.25$	24	deg
Γ	90	deg

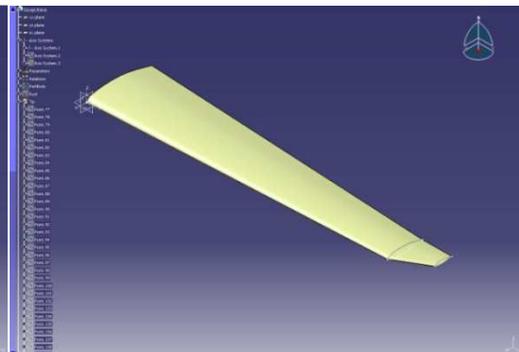
Tabel 3 Tabel geometri wing tip extension

Base model Wing Tip Extension		
b1/2	1	m
λ	0.5	
cr	1.18	m
ct	0.59	m
$\Lambda 0.25$	24	deg
c	0	deg

Dari table geometri diatas kemudian selanjutnya dilakukan pemodelan secara 3 demensi dengan menggunakan software gambar CAD, dan hasilnya adalah gambar basic geometri winglet dan wingtip extension (Gambar 3.11 dan 3.12)



Gambar 3.11. Basic geometri winglet



Gambar 3.12. Basic geometri wing extension

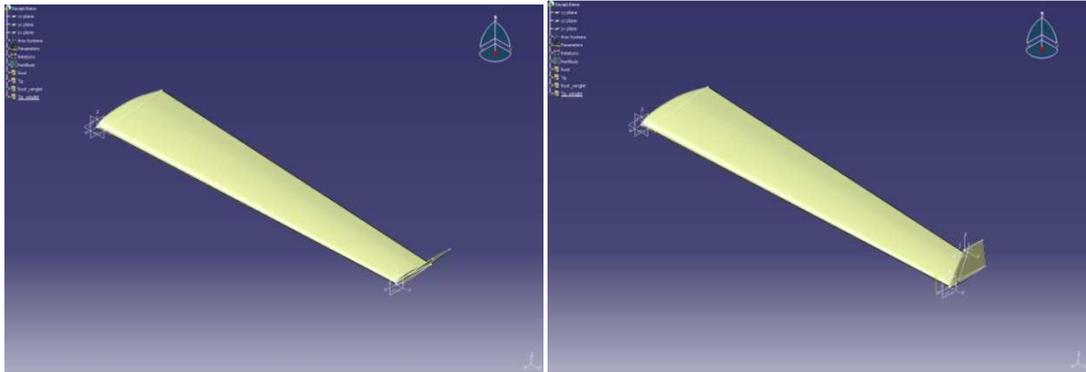
4.4.1 Variasi Geometri

Untuk mendapatkan hasil rancangan yang optimal, geometri wing tip akan divariasikan terhadap beberapa parameter geometri. Kedua konfigurasi wing tip divariasikan terhadap konfigurasi wing tip basis dengan perbedaan antara winglet dan wing tip extension yang terletak pada sudut hedral awal. Berikut merupakan variasi geometri wing tip untuk kedua konfigurasi:

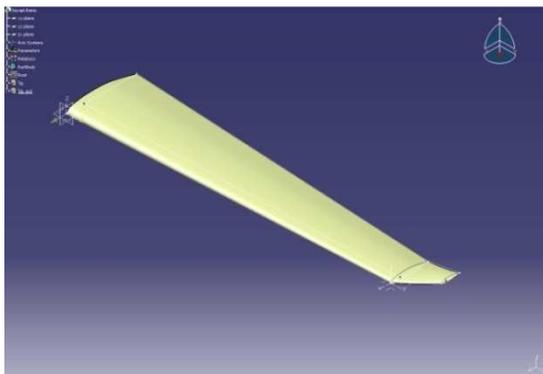
Tabel 4 Tabel variasi geometri winglet/wing tip extension

Variasi geometri winglet/wing tip extension	dimensi	satuan
Span (b)	0.8	m
Hedral (Γ wl)	60/15	deg

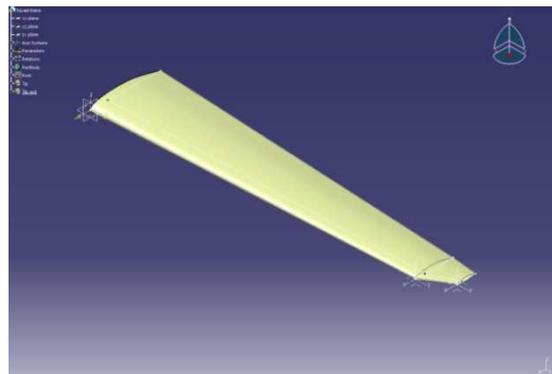
Wing tip device akan disatukan dengan sayap basis pada bagian tipnya. Penyatuan dilakukan dengan cara penggabungan biasa tanpa menggunakan fillet karena nantinya proses optimasi akan dilakukan kemudian. Wingtip devicenya sendiri akan menggunakan airfoil simetri NACA 0010 sebagai basis airfoil wing tip device.



Gambar 3.13. Basic geometri winglet hedral 60 **Gambar 3.14.** Basic geometri winglet span 0.8



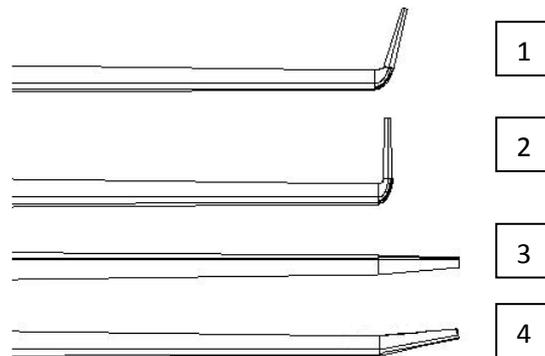
Gambar 3.15. Basic geometri wing extension hedral 15



Gambar3.16. Basic geometri wing extension span 0.8

4.4.2 Metode Analisis CFD

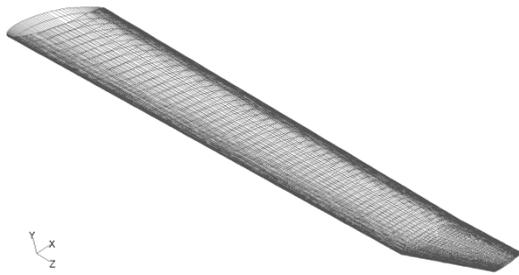
Metode analisis yang digunakan adalah dengan menggunakan CFD atau Computational Fluid Dynamics. Analisis akan dilakukan pada setiap model baik model basis maupun variannya.



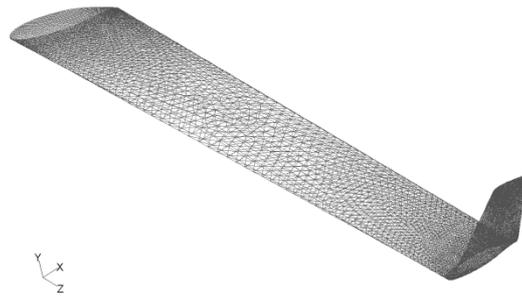
Gambar 1.17. Kandidat Wingtip device yang akan diuji

Pada gambar 3.17 merupakan hasil pemilihan desain wingtip device, yaitu winglet dan wingtip extension dengan variasi geometri. Untuk yang no 1 yaitu winglet dengan sudut hedral 60, no 2 basic geometri dari winglet span 0, 8, no 3 basic geometri wingtip extension span 0, 8, sedangkan untuk no 4 yaitu wingtip extension dengan sudut hedral 15.

Dalam melakukan analisis CFD terdapat perbedaan yaitu untuk wingtip extension menggunakan diskritisasi dengan quadtrilateral/structured mesh seperti terlihat pada gambar 3.18, sedangkan untuk model winglet digunakan triangular/unstructured mesh dikarenakan kompleksitas junction antara wing dan winglet seperti terlihat pada gambar 3.19.



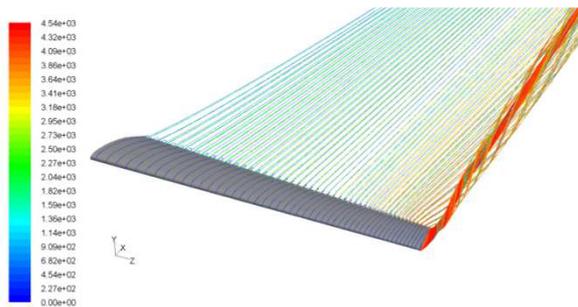
Gambar 3.18. Wingtip extension menggunakan structured mesh



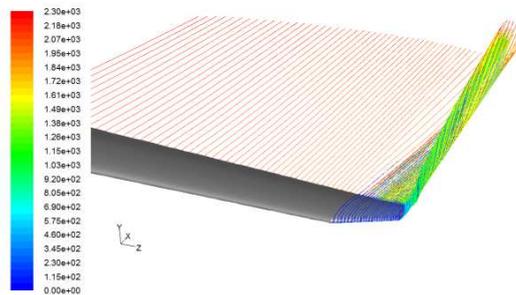
Gambar 3.19. Winglet menggunakan unstructured mesh

Dari hasil simulasi flow dengan CFD yang terjadi pada sayap pesawat N-219, antara basic wing, wingtip extension dan winglet, diperoleh hasil sebagai berikut

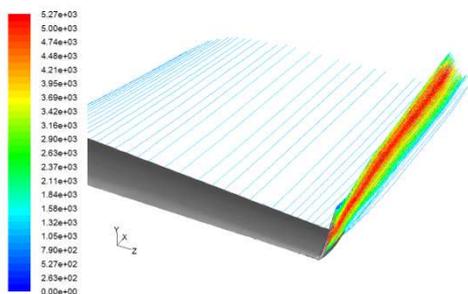
1. Pada basic wing terjadi vortex pada ujung wingtip yang lumayan besar yaitu ditunjukkan warna merah artinya di daerah yang berwarna merah aliran udara yang terjadi vortex masih besar (gambar 3.20)
2. Pada wingtip extension, masih terjadi vortex pada wingtip dimana arah aliran vortex masih menuju ke arah aliran di permukaan sayap (gambar 3.21)
3. Pada winglet vortex yang terjadi sudah berkurang dan arahnya menjauh dari aliran sayap (gambar 3.22), ketika dilihat dari dekat, dilakukan pembesaran pada ujung winglet, vortex yang terjadi sudah kecil, sehingga tidak mengganggu aliran yang terjadi pada sayap (gambar 3.23)



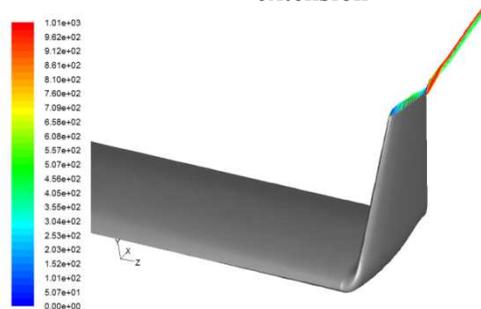
Gambar 3.20. Wing tip vortex pada basic wing model



Gambar 3.21. Wing tip vortex pada wing tip extension

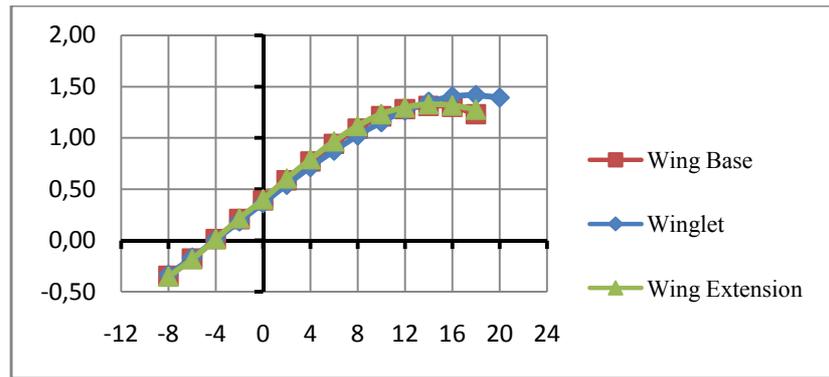


Gambar 3.22. Wing tip vortex pada winglet

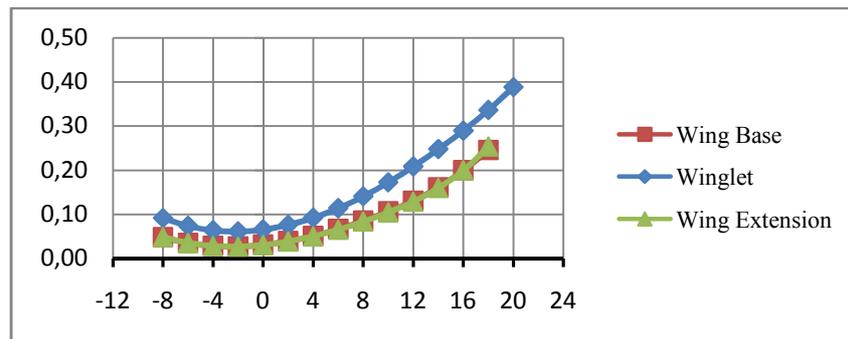


Gambar 3.23. Wing tip vortex yang kecil pada winglet model

Kemudian dari hasil tersebut diatas dapat dilihat karakteristik dari sayap terhadap penambahan wingtip device, dengan melihat kurva C_L -AoA dan C_D -AoA, dapat dilihat bahwa pada winglet terjadi penambahan nilai C_L yang lebih tinggi dari model yang lain (gambar 3.24), sedangkan untuk nilai C_D memang winglet masih terlihat lebih tinggi dikarenakan adanya perbedaan dari diskritisasi model (gambar 3.25), tapi nilai tersebut masih rasional dan tetap meningkatkan efisiensi sayap karena adanya penambahan nilai C_D .



Gambar 3.24. Kurva C_L -AoA pada model sayap



Gambar 2. Kurva C_D -AoA pada model sayap

5. KESIMPULAN

Dari kegiatan yang telah dilakukan beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- Dari pertimbangan dengan pesawat pembanding wingtip device yang dipilih yaitu winglet dan wingtip extension.
- Untuk mendapatkan hasil perancangan yang optimal geometri wingtip device akan divariasikan yaitu dengan variasi span dan hedral
- Dari hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa winglet memberikan $C_{L_{max}}$ yang lebih tinggi dari model wingtip extension yaitu $C_{L_{max}}$ wing base 1.31, $C_{L_{max}}$ wing extension 1.33 dan $C_{L_{max}}$ winglet 1.42
- Dengan adanya penambahan wingtip device, terjadi peningkatan efektifitas sayap terutama dengan model winglet yang memberikan nilai C_L yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- a. Abbot, Ira H, Von Doenhoff, Albert E, "*Theory of Wing Sections*", Dover Publications, Inc, New York, 1959.
- b. Kroo, Ilan *Drag due to Lift: Concept for Prediction and Reduction* Annual Review of Fluid Mechanics, March 2001
- c. <http://kedirgantaraan.blogspot.com>
- d. Raymer, Daniel.P, "*Aircraft Design: A Conceptual Approach*, Third Edition, Reston. AIAA, 1999
- e. <http://wingrid.ch>
- f. <http://www.newplane.com>
- g. PT Dirgantara Indonesia, "*Desain Pesawat N-219*", Bandung, 2012