

ANALISIS AERODINAMIKA DAN STUDI PARAMETER SAYAP CN-235 KONDISI TERBANG JELAJAH (AERODYNAMIC ANALYSIS AND PARAMETRIC STUDY OF CN-235 WING AT CRUISE CONDITION)

Nila Husnayati, Mochammad Agoes Moelyadi

Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung

e-mail: nilahusnayati@gmail.com

ABSTRACT

Most of commercial aircraft is designed to fly at subsonic speed and operated at various angles of attack from low to moderate. Wing is the main component in producing lift to balance the aircraft's weight. In addition, configuration of aircraft's wing has a great effect on aircraft performances such as range and endurance. Some of the important wing parameters affecting aerodynamic performances of aircraft are aspect ratio, taper ratio, twist angle, dihedral angle and swept angle. In this research, Effect of aspect ratio and taper ratio on wing aerodynamics of CN 235 are assessed. Computational approach using Catia (modelling) and ANSYS Fluent (analysis) is used to predict aerodynamic characteristics of wing. This approach generates geometry, airflow and aerodynamic characteristics of wing by solving RANS equation with turbulence model. Numerical results show effect of the wing parameters on flow behaviours and wing aerodynamic characteristics shown with $Cl-\alpha$, $Cd-\alpha$, $Cm-\alpha$, and polar drag graphs. Numerical results in this works will be validated with Abbot [1959].

Keywords: *Taper ratio, Aspect ratio, Wing aerodynamic performance, Computational fluid dynamic*

ABSTRAK

Kebanyakan pesawat penumpang didesain untuk terbang pada kecepatan subsonik dan beroperasi pada sudut serang rendah hingga moderat. Sayap merupakan komponen utama pesawat sebagai penghasil gaya angkat untuk mengatasi berat pesawat. Selain itu, konfigurasi sayap pesawat berpengaruh pada prestasi aerodinamika pesawat termasuk jarak terbang (*range*) dan lama terbang (*endurance*). Beberapa parameter penting sayap yang berpengaruh terhadap prestasi aerodinamika pesawat adalah *aspect ratio*, *taper ratio*, sudut *twist*, sudut dihedral, dan sudut sibak. Dalam penelitian ini, parameter *aspect ratio* dan *taper ratio* dikaji pengaruhnya terhadap prestasi aerodinamika sayap pesawat CN 235. Untuk memprediksi karakteristik aerodinamika sayap tersebut, dilakukan pendekatan komputasi menggunakan *software* Catia (pemodelan) dan ANSYS Fluent (analisis). Pendekatan tersebut menghasilkan geometri, perilaku aliran dan karakteristik aerodinamika sayap dengan menyelesaikan persamaan RANS dengan model turbulen. Hasil numerik memperlihatkan pengaruh perubahan signifikan dari parameter planform sayap yang dikaji pada perilaku aliran dan karakteristik aerodinamika sebagaimana ditampilkan dengan grafik $Cl-\alpha$, $Cd-\alpha$, $Cm-\alpha$, serta grafik drag polar. Hasil numerik dalam penelitian ini divalidasi dengan Abbott [1959].

Kata kunci: *Taper ratio, Aspect ratio, Prestasi aerodinamika sayap, Dinamika fluida komputasional*

1 PENDAHULUAN

CN-235 merupakan pesawat terbang turboprop kelas menengah

bermesin dua hasil kerjasama antara IPTN (sekarang PT DI) Indonesia dengan CASA Spanyol diproduksi Desember

1986. Pesawat ini berkemampuan untuk berkompetisi dengan pesawat sekelasnya karena perawatan murah, irit bahan bakar, dan cocok untuk karakter penerbangan komersial dalam negeri Indonesia. Ukurannya yang kecil memungkinkan untuk melayani penerbangan ke daerah-daerah yang memiliki keterbatasan landasan pacu. Hingga saat ini PT DI masih menjadikan CN-235 sebagai salah satu program fokus dalam pengembangan dan peningkatan kapasitas dan kemampuan pesawat itu.

Kemampuan terbang pesawat direpresentasikan dengan prestasi terbang pesawat tersebut. Prestasi ini bergantung pada konfigurasi, kecepatan dan sikap terbang, dan sifat udara yang dilewati. Sayap merupakan salah satu komponen pesawat udara yang berpengaruh terhadap prestasi pesawat terbang karena pada sayap tertumpu hampir seluruh beban yang ada termasuk gaya aerodinamik, gaya inersial dan gaya propulsi.

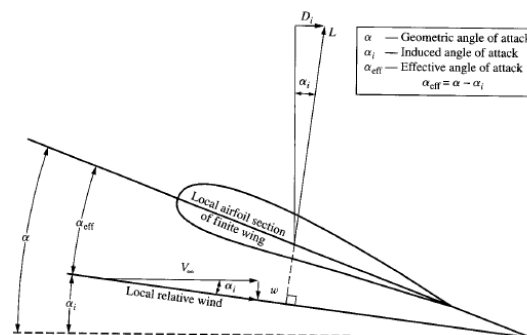
Parameter penting sayap yang berpengaruh terhadap prestasi aerodinamika pesawat adalah *aspect ratio*, *taper ratio*, sudut *twist*, sudut dihedral, dan sudut *swept*. Dalam penelitian ini, parameter *aspect ratio* dan *taper ratio* dikaji pengaruhnya terhadap prestasi aerodinamika sayap pesawat CN 235. Untuk memprediksi karakteristik aerodinamika sayap tersebut pendekatan komputasi digunakan. Pendekatan tersebut menghasilkan perilaku aliran dan karakteristik aerodinamika sayap dengan menyelesaikan persamaan *Reynold Average Navier Stokes* RANS dengan model turbulen tertentu.

2 TEORI

• Sayap

Sayap sebagai penghasil utama gaya angkat, tersusun atas airfoil di seluruh luasan sayap [Abbott, Ira H., and Albert E. von Doenhoff, 1959]. Fenomena aliran yang terjadi pada ujung sayap (*tip*) sangat menarik karena terjadi gerak aliran menggulung (*vortex*)

akibat perbedaan tekanan di permukaan bawah dan permukaan atas. Fenomena ini dikenal dengan *tip vortex*. Pergerakan aliran menggulung tersebut ke arah belakang (*downstream*) akibat gerak maju pesawat. Aliran ini menginduksi aliran di belakang sayap menyebabkan perubahan lokal aliran di sekitar sayap yang menghasilkan sudut serang induksi dengan arah vektor ke bawah (besarnya negatif). Hal ini mengakibatkan sudut serang yang diterima sayap atau sudut serang efektif menjadi lebih kecil. Sudut serang efektif ini menghasilkan pengurangan gaya angkat dan menambah gaya hambat (*drag*) yang dikenal dengan *induced drag* seperti diperlihatkan pada Gambar 2-1. Perubahan karakteristik aerodinamika sayap tersebut berkaitan dengan bentuk *planform* sayap seperti *aspect ratio* dan *taper ratio*.



Gambar 2-1: Pengaruh downwash di aliran lokal melalui *local airfoil section* dari *finite wing* [Anderson Jr., John D., 2007]

• Aspect Ratio

Aspect ratio merupakan perbandingan kuadrat panjang bentang sayap (*wingspan*) terhadap panjang sayap dari depan ke belakang (*chord*). Sayap dengan *aspect ratio* lebih tinggi, contohnya sayap-sayap yang lebih panjang dan ramping. Sayap model ini memiliki gaya hambat lebih rendah untuk gaya angkat tertentu dibanding pesawat dengan luas sayap yang sama namun lebih pendek dan lebar.

$$AR = b^2/S \tag{2-1}$$

Hubungan *aspect ratio* terhadap gaya hambat ditunjukkan dalam persamaan matematika sebagai berikut:

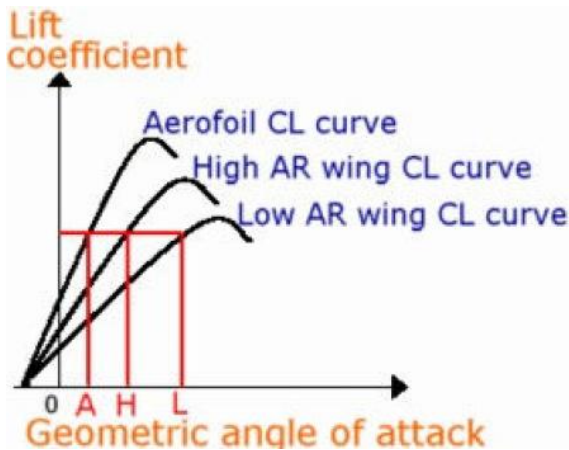
$$Cd = Cd_0 + Cd_i \quad (2-2)$$

$$Cd_i = \frac{C_L^2}{\pi e AR} \quad (2-3)$$

Keterangan:

- Cd = koefisien gaya hambat pesawat
- Cd₀ = koefisien gaya hambat saat C_L=0
- C_L = koefisien gaya angkat pesawat
- e = bilangan Oswald
- AR = aspect ratio

Dari persamaan di atas diketahui bahwa *induced drag* berbanding terbalik dengan *aspect ratio*, sehingga semakin besar *aspect ratio* maka semakin kecil *induced drag* yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya. Pengaruh *aspect ratio* untuk sayap tipikal diperlihatkan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2: Efek *aspect ratio* pada kurva CL terhadap sudut serang [Ardhianto, Kurniawan, 2011]

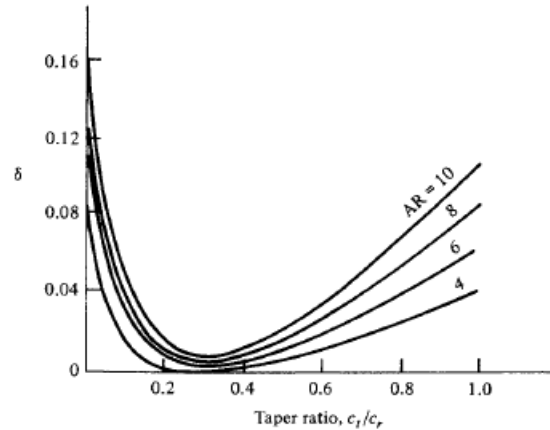
Jika *aspect ratio* dinaikkan dengan menambah panjang sayap dan mengurangi lebarnya, kemiringan grafik koefisien gaya angkat terhadap sudut serang meningkat, menjadi lebih curam.

• *Taper Ratio*

Taper ratio merupakan perbandingan panjang *chord* pada bagian *tip* dan panjang *chord* pada pangkal sayap. *Taper ratio* berpengaruh pada *induced drag*. Berdasarkan *lifting line theory* untuk sayap tanpa *swept* dan tanpa *twist*, planform sayap berbentuk eliptik memberi gaya hambat minimum. Sayap menghasilkan variasi gaya angkat sepanjang *span* eliptik.

$$\lambda = c_t/c_r \quad (2-4)$$

Taper ratio untuk sayap trapesium, yang memberikan *lift-induced drag* minimum, sedikit bergantung pada *aspect ratio* dan sudut sibak.

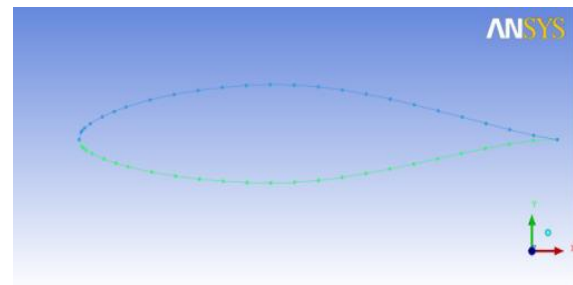


Gambar 2-3: *Induced drag factor* sebagai fungsi *taper ratio*. [Anderson Jr., John D., 2007]

Induced drag factor δ dinyatakan sebagai fungsi *taper ratio* dan dinyatakan dalam rumus $e = (1+\delta)^{-1}$. Oleh karena itu, pada *aspect ratio* yang sama sayap taper memiliki *induced drag* yang lebih kecil dari pada sayap persegi empat (*rectangular*), tetapi sayap delta memiliki *induced drag* yang lebih besar daripada sayap taper.

3 PEMODELAN SAYAP

Koordinat geometri airfoil NACA 65₃-218 dimodelkan dengan menggunakan *pre processing* ICEM CFD [Abbott, Ira H., and Albert E. von Doenhoff, 1959], seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-1.



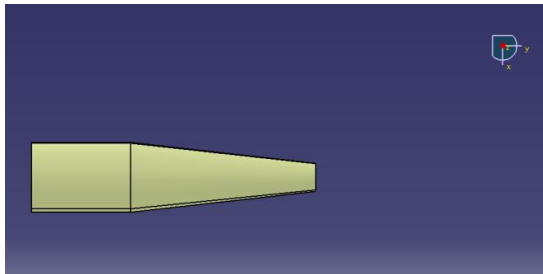
Gambar 3-1: Geometri airfoil NACA 65₃-218

Data geometri sayap CN-235 ditunjukkan dalam Tabel 3-1. [Muhammad, Hari, 1983; Uygun, Murat and Tuncer, Ismail H., 2003]

Table 3-1: DELTA WING GEOMETRI DATA

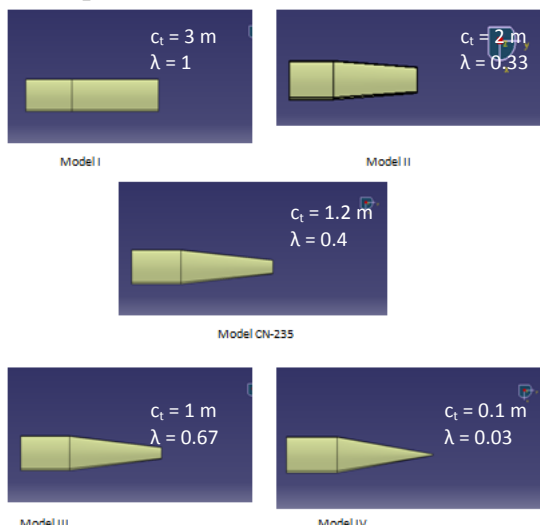
Airfoil	NACA 65 ₃ -218
Root Chord [m]	3
Kink Chord [m]	3
Tip Chord [m]	1.2
Wingspan [m]	12.25
Wing Area [m ²]	59.1
Swept Angle Kink [deg]	6.42
Aspect Ratio	10.16
Taper Ratio	0.4

Geometri sayap dimodelkan dengan menggunakan Catia dan disimpan dengan format .igs agar dapat diimpor oleh ICFM CFD dengan format STEP/IGES.

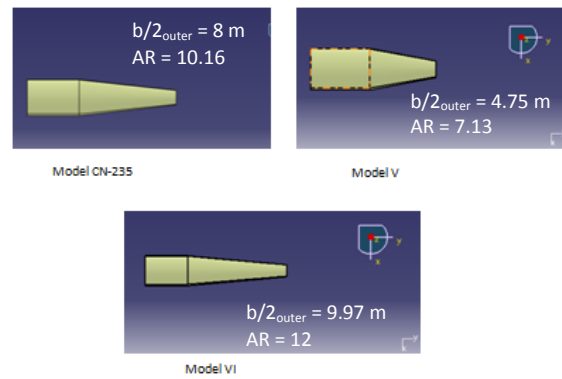


Gambar 3-2: Geometri sayap CN-235

Selanjutnya, analisis dilakukan untuk beberapa geometri sayap dengan memvariasikan *taper ratio* dan *aspect ratio*. Variasi *taper ratio* dilakukan dengan mengatur panjang *semispan* dan *rootchord* tetap, tetapi *tipchord* berubah. Sedangkan variasi *aspect ratio* dilakukan dengan membuat *rootchord* dan *tipchord* tetap, tetapi panjang *semispan outer* dan *aspect ratio* berubah.



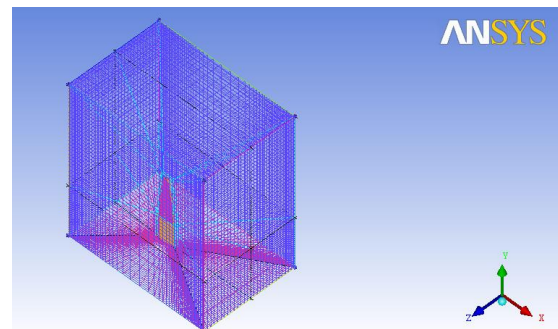
Gambar 3-3: Geometri sayap dengan variasi *taper ratio*



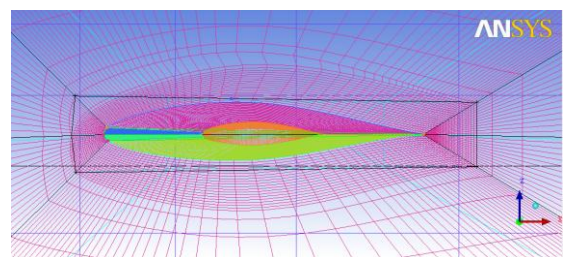
Gambar 3-4: Geometri sayap dengan variasi *aspect ratio*

4 PEMBUATAN GRID

Diasumsikan bahwa sayap simetri, sehingga pembuatan *grid* dan simulasi dilakukan pada separuh sayap. Pembuatan *grid* dilakukan dengan metode *structured grid* karena bentuk dan geometri sayap CN-235 ini sederhana. Selain itu, hasil yang diperoleh *structured grid* biasanya lebih akurat jika dibandingkan dengan hasil *unstructured grid*.



Gambar 4-2: Hasil *mesh* sayap *taper* (AR10.16) dengan *structured grid*



Gambar 4-3: *Mesh* sayap (AR10.16) di dekat permukaan sayap

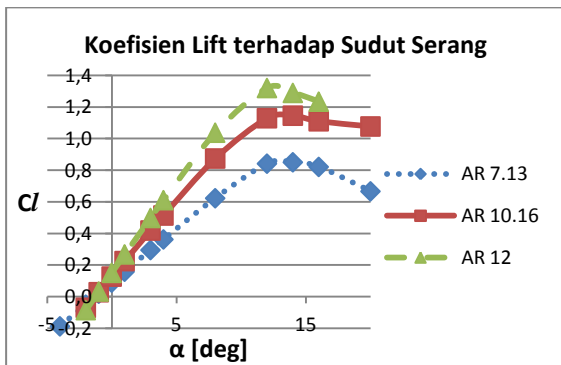
Simulasi ini dilakukan pada model *mesh* sayap dengan jumlah elemen 532.000 dan turbulen model k-Omega SST. Kondisi terbang yang digunakan adalah kondisi terbang jelajah dengan data karakteristik udara dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1: DATA KARAKTERISTIK UDARA

Karakteristik	Ukuran
Ketinggian	6100 m
Density	0.653 kg/m ³
Total Pressure	46576.188 Pa
Temperature	248.547 K
Velocity	126 m/s
Viscosity	1.59e-5 kg/m.s

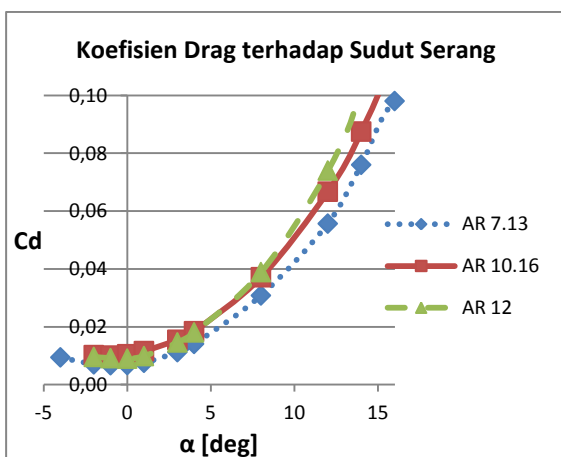
5 HASIL

• Efek Aspect Ratio

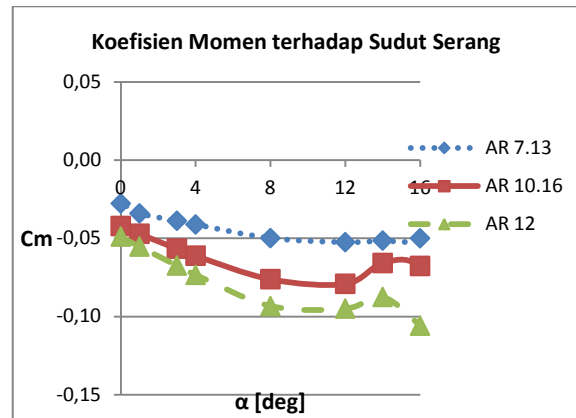


Gambar 5-1: Pengaruh aspect ratio terhadap kurva C_l - α

Gambar 5-1 menunjukkan bahwa koefisien gaya angkat tertentu, misal C_l 0.8, dapat diperoleh oleh aspect ratio yang lebih tinggi dengan sudut serang yang lebih rendah. Ini berarti bahwa kenaikan aspect ratio mengakibatkan kenaikan C_l sayap pada sudut serang yang sama.



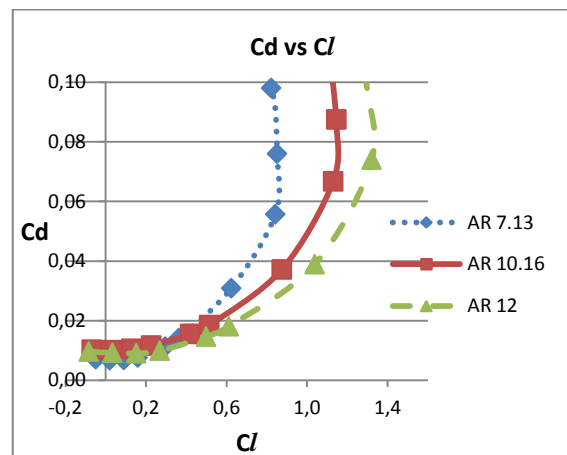
Gambar 5-2: Pengaruh aspect ratio terhadap kurva C_d - α



Gambar 5-3: Pengaruh taper ratio terhadap kurva $C_{m\text{pitch}}-\alpha$

Gambar 5-3 menunjukkan kurva koefisien momen pitch di $\frac{1}{4}$ mean aerodynamic chord terhadap penambahan sudut serang untuk airfoil dengan camber positif. Kurva berada di dalam daerah negatif C_m di setiap variasi sudut serang dan mendekati nilai nol agar pesawat berada di kondisi seimbang selama terbang cruise.

Kurva tersebut juga menunjukkan variasi C_m akibat kenaikan aspect ratio. Aspect ratio yang lebih besar menghasilkan C_m yang lebih negatif. Artinya, sayap dengan aspect ratio 12 memiliki kestabilan yang lebih baik jika dibandingkan dengan sayap yang memiliki aspect ratio 7.



Gambar 5-4: Pengaruh aspect ratio terhadap kurva drag polar

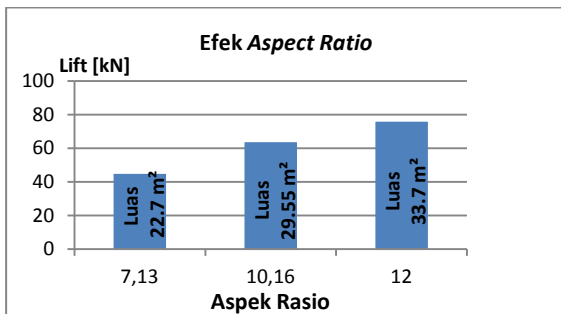
Gambar 5-4 menunjukkan bahwa kenaikan aspect ratio mengakibatkan pola C_d terhadap C_l bergeser ke kanan pada C_l di atas 0.4 dengan sudut serang di atas 3 derajat. Ini menandakan

pertambahan *aspect ratio* mengakibatkan bertambahnya efisiensi aerodinamik karena menghasilkan C_l yang sama dengan C_d yang lebih kecil.

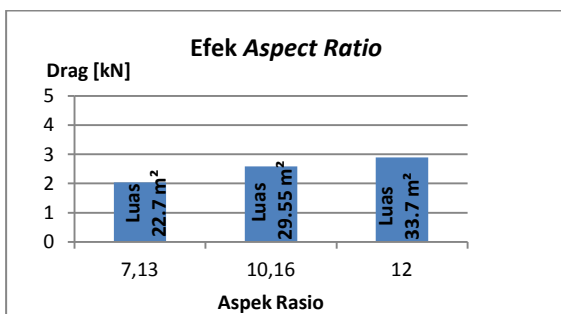
Tabel 5-1: EFEK ASPECT RATIO TERHADAP PERSAMAAN DRAG POLAR

Taper Ratio	Aspect Ratio	Cd0	Cdi
0.4	7.13	0.0067	0.0446 C_l^2
	10.16	0.0105	0.0313 C_l^2
	12	0.0090	0.0265 C_l^2

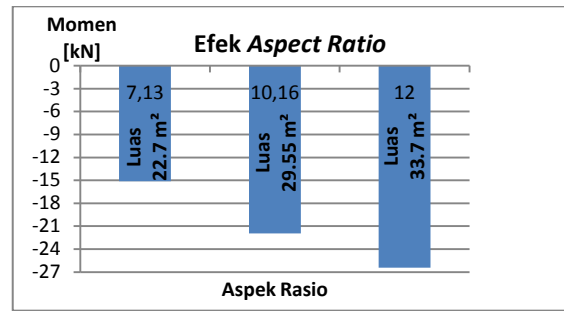
Tabel 5-1 menunjukkan terjadinya variasi koefisien gaya hambat viscous (C_{d0}) dan induced (C_{di}) pada ketiga model sayap. Kenaikan *aspect ratio* menghasilkan berkurangnya konstanta pengali kuadrat koefisien gaya angkat sebagai komponen koefisien *induced drag*. C_{d0} merupakan koefisien drag minimum yang dihasilkan oleh sayap. C_{d0} *aspect ratio* 7.13 dan 10.16 terjadi pada sudut serang -1 derajat, sementara C_{d0} *aspect ratio* 12 terjadi pada sudut serang 0 derajat dengan nilai yang lebih besar.



Gambar 5-5: Hubungan Lift dan Aspect Ratio pada sudut serang 3 derajat

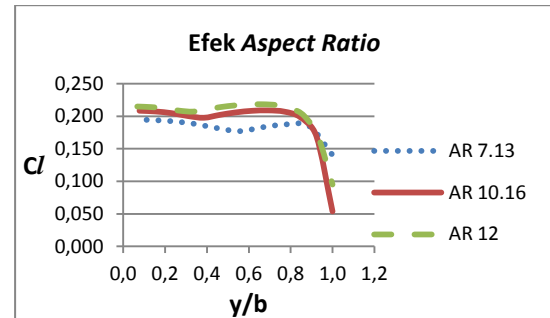


Gambar 5-6: Hubungan Drag dan Aspect Ratio pada sudut serang 3 derajat



Gambar 5-7: Hubungan Momen Pitch dan Aspect Ratio pada sudut serang 3 derajat

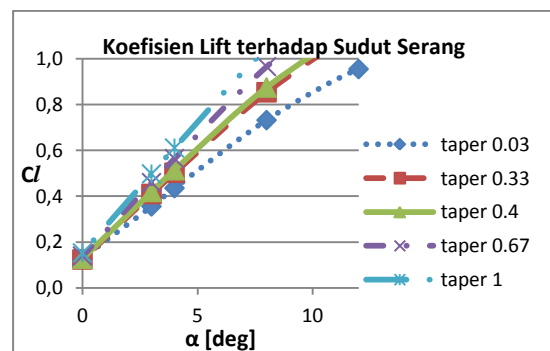
Gambar 5-5, 5-6 dan 5-7 menunjukkan bahwa pada sudut serang yang sama semakin besar *aspect ratio* menghasilkan *lift*, *drag*, dan momen *pitch* yang semakin besar. Hal ini sebagai pengaruh pertambahan luas sayap dan *semispan*.



Gambar 5-8: Distribusi koefisien gaya angkat C_l di sepanjang semispan efek *aspect ratio*

Gambar 5-8 menunjukkan bahwa bertambahnya *aspect ratio* mengakibatkan kurva distribusi C_l bergeser ke atas.

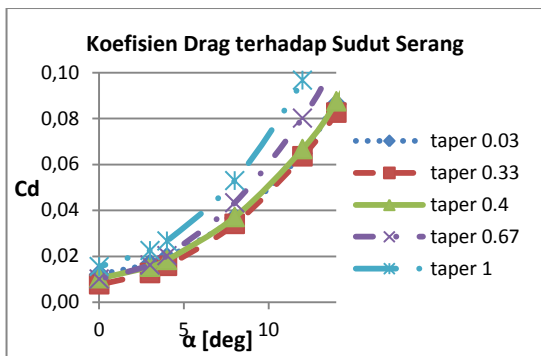
• Efek Taper Ratio



Gambar 5-9: Pengaruh *taper ratio* terhadap kurva $C_l-\alpha$

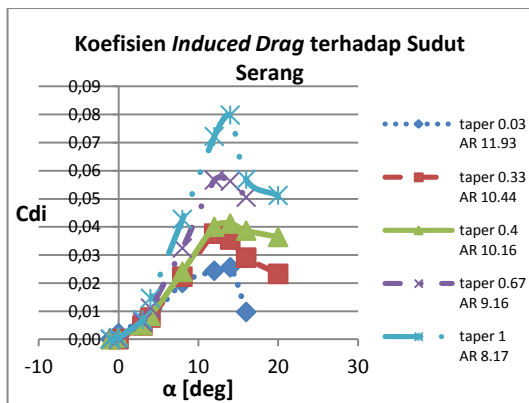
Koefisien gaya angkat tertentu, misal C_l 0.8, dapat diperoleh oleh *taper ratio* yang lebih tinggi dengan sudut serang yang lebih rendah. Ini berarti bahwa kenaikan *taper ratio* meng-

akibatkan kenaikan C_l sayap pada sudut serang yang sama.



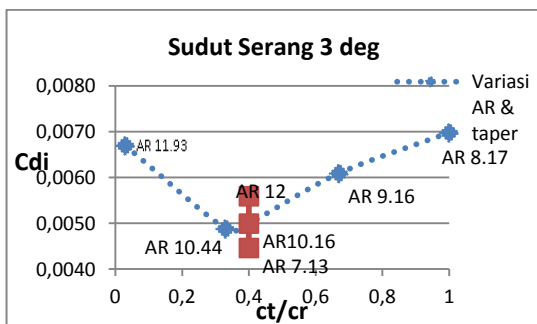
Gambar 5-10: Pengaruh *taper ratio* terhadap kurva C_d - α

Pengurangan *taper ratio* sekaligus kenaikan *aspect ratio* mengakibatkan pengurangan C_d sayap pada sudut serang yang sama.



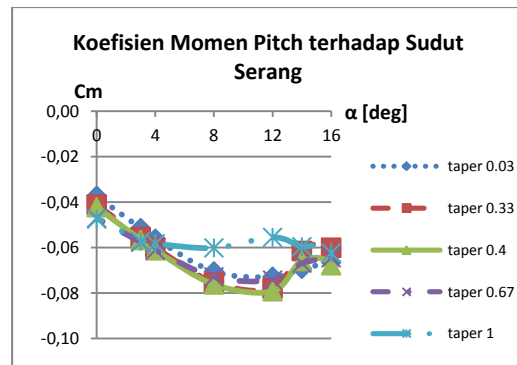
Gambar 5-11: Efek *taper ratio* dan *aspect ratio* terhadap kurva C_{di} - α

Berkurangnya C_d dikarenakan adanya pengurangan *induced drag* sayap seperti pernyataan dalam persamaan matematik bahwa C_{di} berbanding terbalik dengan *aspect ratio* (AR) dan mendapat pengaruh dari faktor efisiensi span (e). Dimana e didefinisikan sebagai $(1+\delta)^{-1}$ dan δ merupakan fungsi *taper ratio*. Kontribusi *induced drag* ini dapat dilihat pada Gambar 5-11 dan 5-12.



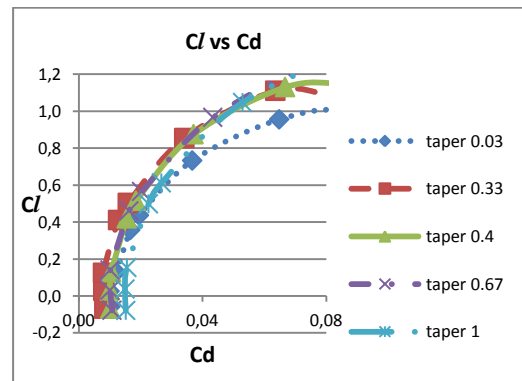
Gambar 5-12: Koefisien gaya hambat *induced* terhadap *taper ratio*

Induced drag minimum terjadi pada taper 0.33. Taper 0.33 ini mendekati pola sayap eliptik. Nilai *induced drag* membesar di sekitar taper 0.33. Selain itu, pada *taper ratio* yang sama dengan *aspect ratio* yang bertambah menghasilkan nilai *induced drag* yang bertambah pula.



Gambar 5-13: Pengaruh *taper ratio* terhadap kurva $C_{m_{pitch}}$ - α

Kurva tersebut menunjukkan variasi C_m akibat kenaikan *taper ratio*. *Taper ratio* yang lebih besar menghasilkan C_m yang lebih negatif.

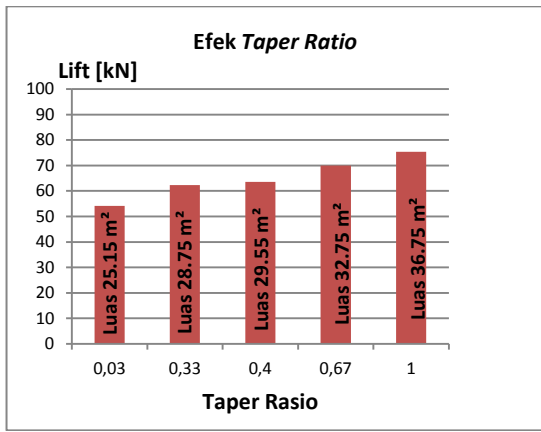


Gambar 5-14: Pengaruh *taper ratio* terhadap kurva drag polar

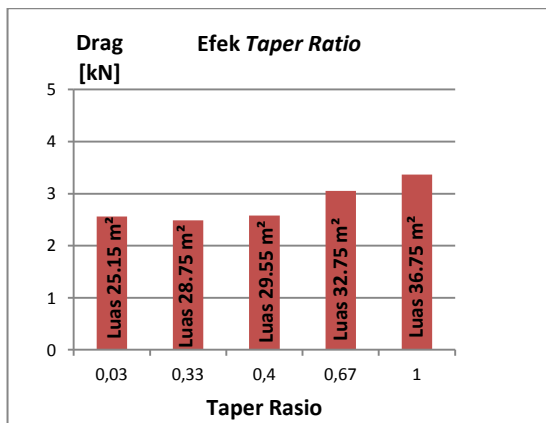
Kurva drag polar paling kiri adalah taper 0.33. Hal ini diakibatkan oleh C_d minimum terjadi pada taper 0.33 tersebut. Kurva drag polar bergeser ke kanan untuk taper di sekitar 0.33.

Tabel 5-2: PERSAMAAN DRAG POLAR EFEK *TAPER RATIO*

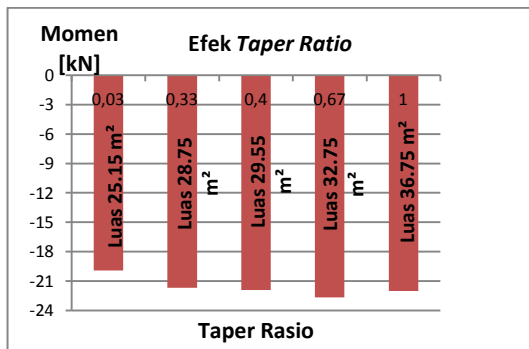
<i>Taper Ratio</i>	<i>Aspect Ratio</i>	C_{d0}	C_{di}
0.03	11.93	0.0010	0.0267 C_P^2
0.33	10.44	0.0079	0.0305 C_P^2
0.4	10.16	0.0101	0.0313 C_P^2
0.67	9.16	0.0101	0.0348 C_P^2
1	8.17	0.0150	0.0390 C_P^2



Gambar 5-15: Hubungan Lift dan Taper Ratio pada sudut serang 3 derajat

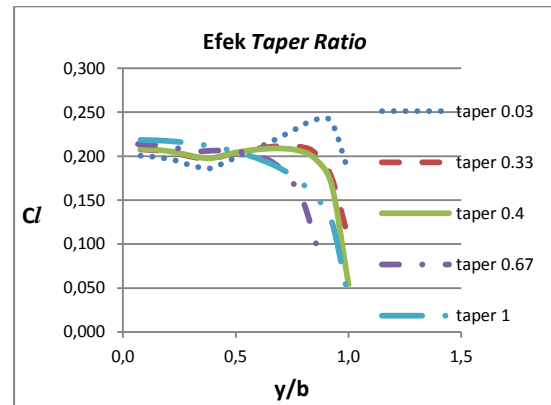


Gambar 5-16: Hubungan Drag dan Taper Ratio pada sudut serang 3 derajat



Gambar 5-17: Hubungan Momen Pitch dan Taper Ratio pada sudut serang 3 derajat

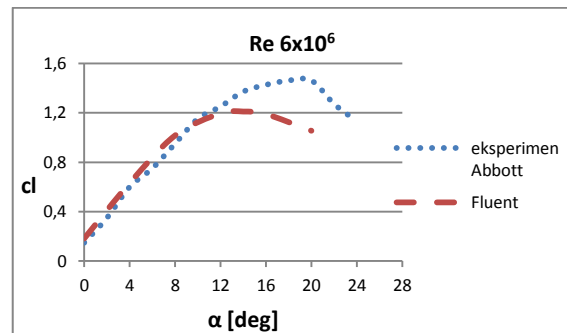
Gambar 5-15, 5-16 dan 5-17 menunjukkan bahwa pada sudut serang yang sama semakin besar taper ratio menghasilkan lift, drag dan momen pitch yang semakin besar pula akibat pengaruh bertambahnya luas sayap dan semispan. Selain itu, Gambar 5-16 juga menunjukkan adanya induced drag factor minimum terjadi di taper ratio 0.33.



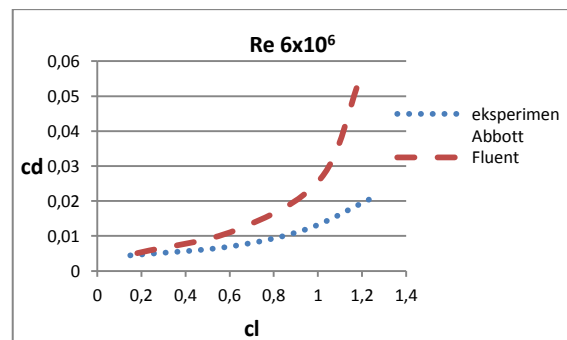
Gambar 5-18: Distribusi koefisien gaya angkat Cl di sepanjang semispan efek taper ratio

Bertambahnya taper ratio mengakibatkan kurva distribusi Cl bergeser ke atas untuk semispan di sekitar root dan bergeser ke bawah untuk semispan di sekitar tip.

Hasil-hasil simulasi di atas perlu divalidasi. Penelitian ini melakukan validasi dengan membandingkan hasil simulasi airfoil dengan data eksperimen Referensi 1 pada Re yang sama, yaitu 3×10^6 .



Gambar 5-19: Kurva cl terhadap sudut serang hasil eksperimen dan fluent dengan $Re 6 \times 10^6$



Gambar 5-20: Kurva cd terhadap cl hasil eksperimen dan fluent dengan $Re 6 \times 10^6$

Gambar 5-19 dan 5-20 menunjukkan bahwa kurva hasil simulasi

airfoil dengan Fluent serupa dengan hasil eksperimen Abbot. Galat c_l hasil simulasi Fluent terhadap hasil eksperimen Abbot pada sudut serang di bawah 14 derajat adalah 4% hingga 17%, sedangkan galat c_d adalah 12% hingga 62%. Perbedaan ini akibat kualitas *meshing* simulasi numerik yang mempengaruhi ketelitian *solver*.

6 KESIMPULAN

Model aliran pada permukaan sayap CN-235 dapat dimodelkan dengan menggunakan Fluent dan model turbulen K-omega SST dimana karakteristik aerodinamika sayap CN 235 adalah:

ΔC_l rata-rata = 0.095/deg; $C_{l_{max}} = 1.146$; $\alpha_{stall} = 14$ deg; C_d saat $C_{l_{max}} = 0.088$; dan C_m saat $C_{l_{max}} = -0.066$

Pertambahan *aspect ratio* mengakibatkan:

- Koefisien gaya angkat yang terjadi lebih besar pada sudut serang yang sama.
- Bertambahnya efisiensi pada sudut serang di atas 3 derajat karena dapat menghasilkan C_l yang besar dengan perubahan C_d yang kecil.

Pertambahan *taper ratio* mengakibatkan:

- Koefisien gaya angkat yang terjadi lebih besar pada sudut serang yang sama.
- Koefisien gaya hambat bertambah akibat terjadinya penambahan *induced drag* pada *taper ratio* yang lebih kecil atau lebih besar dari 0.33 Koefisien gaya hambat terkecil terjadi pada *taper ratio* 0.33.

- Berkurangnya efisiensi karena C_l yang sama diperoleh dengan perubahan C_d yang lebih besar.

Pola distribusi koefisien gaya angkat di sepanjang span adalah sama yaitu besar di *root* dan semakin kecil ke arah tip. Kenaikan *aspect ratio* menyebabkan kurva distribusi koefisien gaya angkat bergeser ke atas. Kenaikan *taper ratio* menyebabkan kurva distribusi koefisien gaya angkat bergeser ke atas pada daerah *root* hingga 40% span dan bergeser ke bawah pada daerah 40% span hingga tip.

DAFTAR RUJUKAN

- Abbott, Ira H., and Albert E. von Doenhoff, 1959. *Theory of Wing Sections*, Dover Publications, New York.
- Anderson Jr., John D., 2007. *Fundamental of Aerodynamics (Fourth Edition)*, McGraw-Hill, New York.
- Ardhianto, Kurniawan, 2011. *Analisa Aerodinamika Pesawat Akibat Pengaruh Canard pada Sudut Serang Tinggi*, ITB, Bandung.
- Muhammad, Hari, 1983. *Memorandum M-490 Calculated Static Longitudinal Stability and Control Characteristics of The CASA-Nurtanio 212 and CASA-Nurtanio 235 Airplanes*, Delft, Netherlands.
- Uygun, Murat and Tuncer, Ismail H., 2003. *A Computational Study of Subsonic Flows over A Medium Range Cargo Aircraft*, AIAA, Florida.

