

**PRINSIP KERJA PESAWAT TERBANG
PADA HUKUM BERNOULI**

Dosen Pengampu :

Drs. I Dewa Putu Nyeneng, M.Sc

Dr. Doni Andra, S.Pd., M.Sc

Disusun Oleh :

Fadiyah Farah Khoirunnisaa 2013022062

Kelas : B



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2021

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada saya sehingga dapat menyelesaikan makalah ini tepat pada waktunya. Makalah ini berjudul “Prinsip Kerja Pesawat Terbang Pada Hukum Bernouli”. Makalah ini dibuat untuk memenuhi tugas akhir mata kuliah Mekanika yaitu sebagai makalah singkat yang memuat penjelasan prinsip kerja salah satu teknologi/peralatan yang ada dalam kehidupan sehari-hari yang melibatkan konsep-konsep mekanika di dalamnya.

Saya menyadari bahwa makalah ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun, selalu saya harapkan demi kesempurnaan makalah ini. Semoga makalah ini dapat memberikan wawasan yang lebih luas kepada pembaca. Semoga Allah SWT senantiasa meridhoi segala usaha kita. Amin.

Bandar Lampung, 24 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	1
1.3 Tujuan.....	2
BAB II PEMBAHASAN.....	3
2.1 Hukum Bernoulli	3
1) Persamaan Kontinuitas	3
2) Persamaan Momentum	3
2.2 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Pesawat Terbang.....	4
Aplikasi Pada Sayap Pesawat	5
2.3 Persamaan Bernouli.....	7
2.4 Aerodinamika	8
Airfoil NACA (National Advisory Committee for Aeronautics)	8
Karakteristik Airfoil	9
2.5 Gaya Angkat Pada Sayap.....	11
BAB III PENUTUP	13
3.1 Kesimpulan.....	13
3.2 Saran	13
DAFTAR PUSTAKA.....	14

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pesawat terbang merupakan suatu kemajuan teknologi yang sangat luar biasa bagi dunia, sejak manusia mulai menemukan cara untuk dapat terbang maka kemajuan teknologi dunia semakin pesat pula hal ini disebabkan dengan adanya pesawat terbang sehingga koneksi / hubungan antara negaranegara di dunia semakin mudah. Sejak pesawat terbang mulai dibuat pertama kali sampai pada era modern seperti sekarang ini bentuk pesawat maupun ukurannya terus menerus berevolusi mengikuti perkembangan pada jamannya.

Dalam perkembangan pesawat terbang ada suatu jaman dimana pesawat dikembangkan sampai ke tingkat teknologi yang dapat dikatakan tiada batas / luar biasa, hal inilah yang memicu mengapa pesawat terbang dikembangkan secara terus menerus sampai sekarang ini. Untuk semua kendaraan, dari kendaraan penumpang kecil hingga yang besar, pengurangan gaya tahan (drag) yang ditandai dengan pengurangan koefisien gaya tahan (drag coefisien) adalah salah satu cara yang paling efisien untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar.

Tekanan serta kecepatan adalah besaran dasar dalam konsep ilmu aerodinamika, kedua parameter tersebut menjadi landasan bagi pengembangan konsep serta aplikasi aerodinamika seperti halnya bidang automotive dan aeronautika. Fenomena flow around body sendiri kerap kali menimbulkan beberapa peristiwa yang cukup merugikan dalam suatu perancangan benda uji pada industri yang bergerak pada bidang aerodinamika, seperti halnya gesekan /friction antara aliran fluida dengan sebuah body atau benda uji, yang akan berujung dengan timbulnya daerah wake di sekitar body atau benda uji.

1.2 Rumusan masalah

1. Apa itu hukum Bernoulli ?
2. Bagaimanakah prinsip kerja pesawat pada hukum Bernouli?
3. Bagaimana gaya angkat pesawat?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengertian dari Hukum Bernouli
2. Untuk mengetahui prinsip kerja pesawat terbang pada Hukum Bernoulli
3. Untuk mengetahui gaya angkat pesawat

BAB II

PEMBAHASAN

2.1 Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa kenaikan kecepatan aliran fluida akan menyebabkan penurunan tekanan fluida secara bersamaan atau penurunan energi potensial fluida tersebut. Intinya adalah tekanan akan menurun jika kecepatan aliran fluida meningkat. Hukum Bernoulli dinamakan dari Daniel Bernoulli yang pertama kali mencetuskan hukum ini berdasarkan bukunya yang berjudul ‘Hydrodynamica’ yang diterbitkan pada tahun 1738. Hukum Bernoulli dapat diaplikasikan pada berbagai jenis aliran fluida dengan beberapa asumsi.

Prinsip Bernoulli adalah persamaan yang menggambarkan perilaku fluida yang bergerak di sepanjang garis saat ini dan yang memberi tahu kita bahwa dalam fluida ideal, energi tetap konstan di sepanjang jalurnya. Prinsip Bernoulli adalah penerapan langsung dari prinsip yang memberi tahu kita tentang kekekalan energi yang memberi tahu kita bahwa jika fluida tidak bertukar energi dengan luar, maka ia harus tetap konstan. Persamaan Bernoulli digunakan untuk menghitung aliran fluida dari pipa yang lebih tinggi menuju ke pipa yang lebih rendah atau sebaliknya. Persamaan Bernoulli merupakan persamaan energi untuk fluida incompressible di mana terdapat tiga bentuk energi (yang dipengaruhi oleh gravitasi) Batas-batas pemakaian persamaan Bernoulli ideal adalah alirannya konstan sepanjang lintasan dan mengabaikan segala kerugian yang terjadi dalam lintasan fluida. Jika alirannya terjadi perubahan atau kerugian turut diperhitungkan, maka hasilnya tidak akan ideal.

1) Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas digunakan untuk menghitung aliran fluida dari penampang yang lebih besar menuju penampang yang lebih kecil atau sebaliknya. Persamaan kontinuitas ideal merupakan hukum kekekalan massa di mana jumlah volume zat massa yang masuk dan keluar selalu konstan.

2) Persamaan Momentum

Persamaan momentum digunakan untuk menghitung pengaruh dari suatu perubahan aliran fluida. Jika pada partikel dalam suatu aliran fluida terjadi perubahan kecepatan baik besaran

maupun arahnya (atau keduanya), maka akan terjadi perubahan energi yang dihasilkannya. Untuk suatu sistem ideal berlaku hubungan; energi yang diusahakan = energi yang dihasilkan.

2.2 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Pesawat Terbang

Pesawat terbang dirancang sedemikian rupa sehingga hambatan udaranya sekecil mungkin. Pesawat pada saat terbang akan menghadapi beberapa hambatan, diantaranya hambatan udara, hambatan karena berat badan pesawat itu sendiri, dan hambatan pada saat menabrak awan. Setelah dilakukan perhitungan dan rancangan yang akurat dan teliti, langkah selanjutnya adalah pemilihan mesin penggerak pesawat yang mampu mengangkat dan mendorong badan pesawat.

Suatu benda yang terbenam dalam fluida yang bergerak, atau sebaliknya benda tersebut bergerak terhadap fluida yang diam, mengalami suatu gaya. Gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut seringkali disebut sebagai gaya-gaya aerodinamika. Dalam semua kasus aerodinamika, gaya-gaya aerodinamika yang bekerja pada benda berasal hanya dari dua sumber dasar ialah distribusi tekanan dan tegangan geser pada permukaan benda.



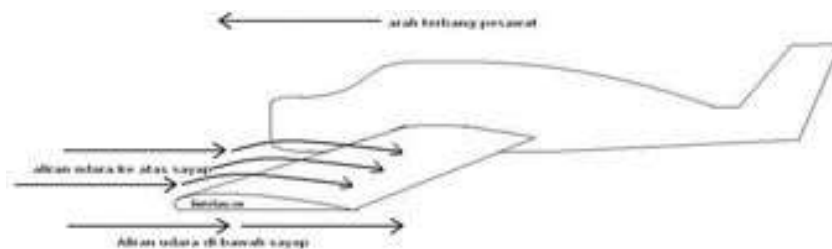
Gambar 2.1 Force of flight

Berikut ini hal-hal yang mendefinisikan gaya-gaya tersebut dalam sebuah penerbangan yang lurus dan datar, tidak berakselerasi (stright and level, unaccelerated):

1. Thrust adalah gaya dorong, yang dihasilkan oleh mesin (powerplant)/baling-baling. Gaya ini kebalikan dari gaya tahan (drag).

2. Drag adalah gaya ke belakang, menarik mundur, dan disebabkan oleh gangguan aliran udara oleh sayap, fuselage, dan objek-objek lain. Drag kebalikan dari thrust, dan beraksi ke belakang paralel dengan arah angin relatif (relative wind).
3. Weight (gaya berat) adalah kombinasi berat dari muatan pesawat itu sendiri, awak pesawat, bahan bakar, dan kargo atau bagasi. Weight menarik pesawat ke bawah karena gaya gravitasi. Weight melawan lift (gaya angkat) dan beraksi secara vertikal ke bawah melalui center of gravity dari pesawat.
4. Lift (gaya angkat) melawan gaya dari weight, dan dihasilkan oleh efek dinamis dari udara yang beraksi di sayap, dan beraksi tegak lurus pada arah penerbangan melalui center of lift dari sayap.

Aplikasi Pada Sayap Pesawat



Gambar 2.2 Penampang Sayap 1

Udara akan mengalir melewati bagian atas sayap dan bagian bawah sayap. Sebenarnya bukan udara yang mengalir melewati sayap pesawat, tapi sayap pesawatlah yang maju “menembus” udara. Tapi kita akan mengasumsikan aliran ini dengan gambar sayap yang diam.

Dengan bentuk yang melengkung di atas, maka aliran udara di atas sayap membutuhkan jarak yang lebih panjang dan membuatnya “mengalir” lebih cepat dibandingkan dengan aliran udara di bawah sayap pesawat. Karena kecepatan udara yang lebih cepat di atas sayap, maka tekanannya akan lebih rendah dibandingkan dengan tekanan udara yang “mengalir” di bawah sayap. Tekanan di bawah sayap yang lebih besar akan “mengangkat” sayap pesawat dan disebut gaya angkat/lift.

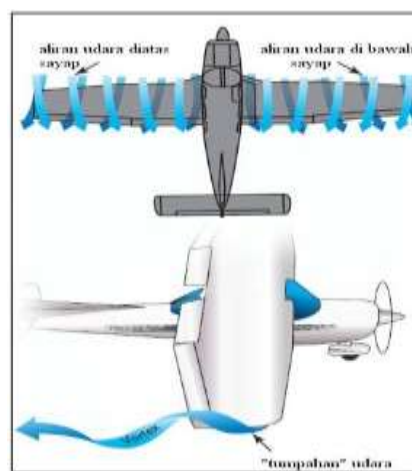


Gambar 2.3 Penampang Sayap 2

Karena itu, kecepatan pesawat harus dijaga sesuai dengan rancangannya. Jika kecepatannya turun maka lift nya akan berkurang dan pesawat akan jatuh, dalam ilmu penerbangan disebut stall. Kecepatan minimum ini disebut Stall Speed. Jika kecepatan pesawat melebihi rancangannya maka juga akan terjadi stall yang dinamakan high speed stall.

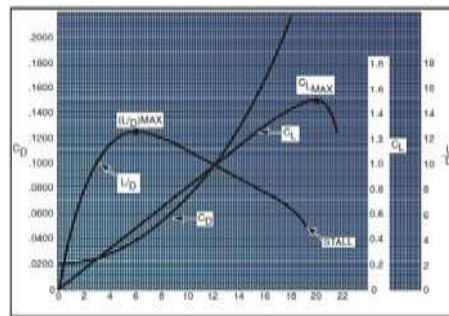
Terbang straight dan level (lurus dan datar) dapat dipertahankan mulai dari terbang dengan kecepatan rendah sampai dengan kecepatan tinggi. Penerbang harus mengatur angle of attack dan thrust dalam semua jangkauan kecepatan (speed regim) jika pesawat harus ditahan di ketinggian tertentu (level flight).

Secara kasar jangkauan kecepatan ini dapat dikelompokkan dalam 3 daerah (regim), kecepatan rendah (low-speed), menjelajah (cruising flight), dan kecepatan tinggi (high- speed).



Gambar 2.4 Aliran udara pada sayap

Lift dan drag yang tersedia pada bermacam-macam kecepatan pada saat pesawat terbang datar dan tidak berakselerasi, proporsi CL (Coefficient of Lift) dan CD (Coefficient of Drag) dapat dihitung pada setiap angle of attack tertentu. Hasil plotting untuk rasio lift/drag (L/D) pada angle of attack tertentu menunjukkan bahwa L/D bertambah ke maksimum kemudian berkurang pada koefisien lift dan angle of attack yang lebih besar seperti terlihat pada gambar. Perhatikan bahwa maksimum rasio lift/drag (L/D max) terjadi pada angle of attack dan koefisien yang tertentu. Jika pesawat beroperasi pada penerbangan yang stabil pada L/D max, maka total drag adalah minimum. Angle of attack apapun yang lebih kecil atau lebih besar dari yang ada di L/D max akan mengurangi rasio lift/drag dan konsekwensinya menambah total drag dari gaya angkat yang diberikan pada pesawat.



Gambar 2.5 Angle of Attack, Degrees

2.3 Persamaan Bernouli

Persamaan Bernoulli adalah

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Sayap pesawat tipis, maka $h_1 = h_2$ sehingga tekanan pada pesawat:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2$$

Oleh karena itu perhatian utama para ahli di bidang keteknikan sering kali lebih kepada tahanan dan gaya angkat daripada distribusi tekanan dan tegangan geser, hasil-hasil eksperimen biasanya diperoleh dan disajikan secara langsung dalam tahanan dan gaya angkat.

Terdapat dua prinsip penting yang harus diikuti dalam mendesain suatu benda dengan tahanan rendah:

1. Apabila benda tersebut panjang dan tipis, tahanannya berkaitan dengan friksi. Tahanan ini dapat dikurangi dengan menjaga alirannya laminar sebanyak mungkin. Hal ini mengisyaratkan permukaan- permukaan yang halus.
2. Apabila benda tersebut adalah benda tumpul, tahanannya (bilangan Reynolds tinggi) terutama tahanan bentuk. Tahanan ini dapat dikurangi dengan menunda separasi selama mungkin. Satu caranya adalah dengan memajukan transisi ke lapisan batas turbulen. Metode yang lebih baik adalah streamlining, ialah memanjangkan bagian belakang benda.
- 3.

2.4 Aerodinamika

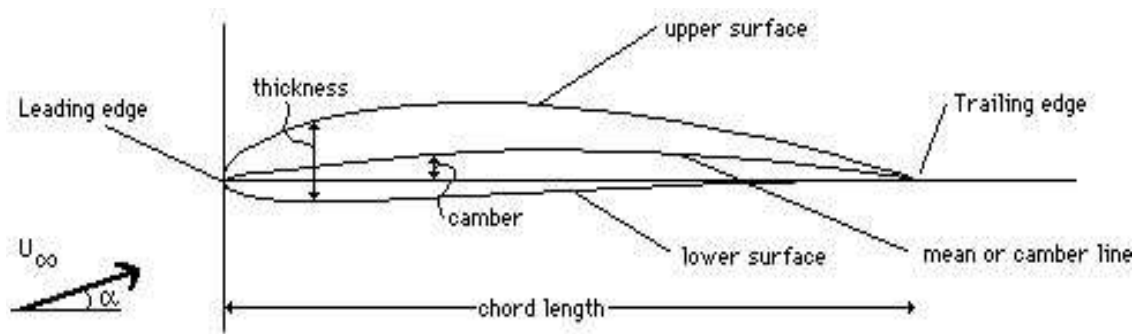
Pertimbangan aerodinamika adalah penting dalam desain kendaraan seperti pesawat terbang. Pesawat terbang tersebut mengalami gaya yang menghambat gerak lajunya yaitu tahanan aerodinamika. Mesin pesawat terbang harus secara terus-menerus menyediakan daya untuk mengatasi beban tahanan tersebut.

Airfoil NACA (National Advisory Committee for Aeronautics)

NACA airfoil adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi airfoil. Geometri airfoil memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan lift (gaya angkat yang dihasilkan). Sampai sekitar Perang Dunia II, airfoil yang banyak digunakan adalah hasil riset Gottingen. Selama periode ini banyak pengajuan airfoil dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset NACA lah yang paling terkemuka. Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau thickness serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain. Hal ini sering dirangkum oleh beberapa parameter seperti: ketebalan maksimum, maksimum bentuk melengkung, posisi max ketebalan, posisi maks bentuk melengkung, dan hidung jari-jari.

Suatu airfoil terdiri dari:

- permukaan atas (Upper Surface)
- permukaan bawah (Lower Surface)
- mean camber line adalah tempat kedudukan titik-titik antara permukaan atas dan bawah airfoil yang diukur tegak lurus terhadap mean camber line itu sendiri.
- Leading edge adalah titik paling depan pada mean camber line, biasanya berbentuk lingkaran dengan jari-jari mendekati $0.02c$
- Trailing edge adalah titik paling belakang pada mean camber line
- camber; adalah jarak maksimum antara mean camber line dan garis chord yang diukur tegak lurus terhadap garis chord.
- ketebalan (thickness); adalah jarak antara permukaan atas dan permukaan bawah yang diukur tegak lurus terhadap garis chord.

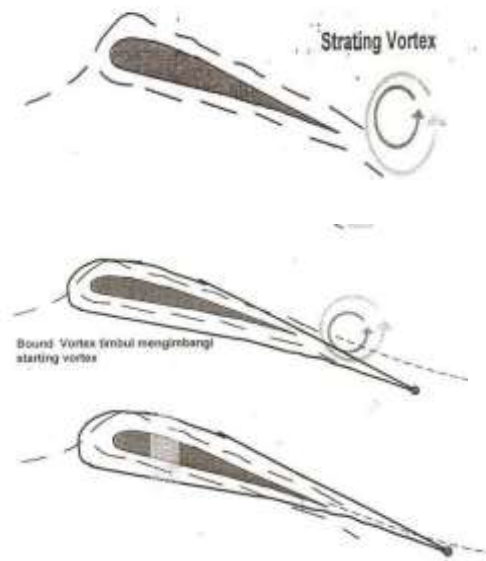


Gambar 2.6 NACA airfoil geometry

Karakteristik Airfoil

Gaya angkat pada airfoil bergantung pada koefisien gaya angkat yang dihasilkan oleh airfoil tersebut. Koefisien gaya angkat (c_l) dipengaruhi oleh disain bentuk camber dari airfoil. c_l yang dihasilkan oleh suatu airfoil bervariasi secara linear dengan sudut serang (α) tertentu. Kemiringan garis ditandai dengan a_0 yang disebut lift slope. Pada daerah ini aliran udara bergerak dengan mulus dan masih menempel pada hampir seluruh permukaan airfoil. Dengan bertambah besarnya α , aliran udara cenderung untuk separasi dari permukaan atas airfoil, membentuk ulakan besar “dead air” di belakang airfoil. Pada aliran separasi ini, aliran udara berputar dan sebagian aliran bergerak ke arah yang berlawanan

dengan aliran freestream disebut juga reversed flow. Aliran yang berpisah merupakan efek dari viskositas. Konsekuensi dari perpisahan aliran pada α tinggi adalah pengurangan gaya angkat atau c_l dan bertambah besarnya gaya hambat akibat pressure drag, kondisi ini disebut kondisi stall. Harga maksimum dari c_l berada pada tepat sebelum kondisi stall yang dilambangkan dengan $\max c_l$. $\max c_l$ merupakan aspek paling penting dari performa airfoil, karena menentukan kecepatan stall pesawat udara khususnya saat fasa terbang kritis yaitu terbang tinggal landas dan mendara



Gambar 2.7 Proses terbentuknya gaya angkat

Berikut ini adalah proses terbentuknya gaya angkat:

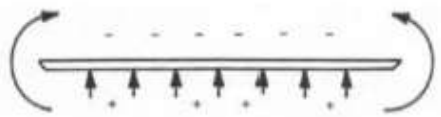
1. Aliran udara mengalir melalui airfoil terpecah dua menjadi aliran di atas dan bawah permukaan airfoil.
2. Di trailing edge kedua aliran bersatu lagi. Namun karena perbedaan sudut arah datangnya kedua aliran tersebut, maka akan terbentuk suatu pusaran yang disebut starting vortex, dengan arah putaran berlawanan arah putar jarum jam.
3. Karena momentum putar awal aliran adalah nol, maka menurut hukum kekekalan momentum, harus timbul pusaran yang melawan arah putar starting vortex ini.

Pusaran ini berputar searah putaran jarum jam mengelilingi airfoil dan dinamakan bound vortex.

4. Starting vortex akan bergeser ke belakang karena gerak maju pesawat.
5. Akibat adanya bound vortex ini, aliran di atas permukaan akan mendapat tambahan kecepatan, dan aliran di bawah permukaan akan mendapat pengurangan kecepatan
6. Karena terjadi perbedaan kecepatan itulah, sesuai dengan hukum Bernoulli, timbul gaya yang arahnya ke atas dan disebut lift (gaya angkat).

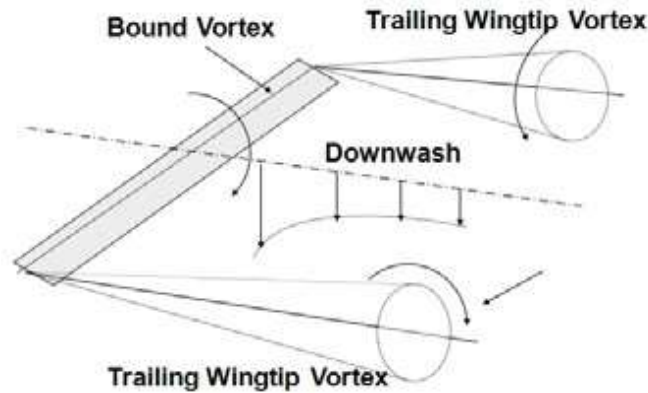
2.5 Gaya Angkat Pada Sayap

Sayap adalah bentuk nyata 3D dari airfoil. Proses terbentuknya gaya angkat pada sayap ini sama dengan airfoil. Walaupun tersusun atas airfoil yang didistribusikan sepanjang span sayap, adanya efek rentang terbatas akan menyebabkan pola aliran di sekitar sayap tidak dapat dianggap sebagai aliran 2D.



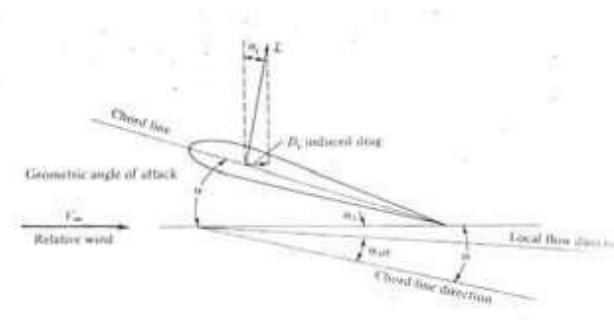
Gambar 2.8 Sayap Tampak Depan

Gaya angkat pada suatu permukaan sayap akan terjadi jika terdapat perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah. Perbedaan ini akan terjadi sepanjang span, kecuali pada ujung sayap. Pada ujung sayap ini akan terjadi proses ekualisasi tekanan sehingga aliran udara mengalami rotasi di sekitar ujung sayap. Dengan demikian secara efektif, aliran di sekitar sayap adalah aliran 3D. Rotasi pada ujung sayap ini disebut wing tip vortex, yang seiring dengan gerak maju pesawat, wing tip vortex akan bergerak ke belakang sayap sekaligus ke bawah. Vortex ini akan mempengaruhi sayap dalam artian mengimbas ke bawah komponen kecepatan aliran di sekitar sayap tersebut. Kecepatan imbas ke bawah ini disebut downwash.



Gambar 2.9 Ilustrasi Downwash

Dengan adanya downwash dan V_∞ , maka akan ada sudut serang lokal yang lebih rendah daripada sudut serang geometrik.



Gambar 2.10 Akibat Downwash

Karakteristik yang makin membedakan airfoil dengan sayap adalah sudut serang efektif yang bergantung pada distribusi downwash sepanjang span. Sementara itu, downwash itu sendiri bergantung pada distribusi lift sepanjang span. Besarnya lift per unit span sendiri bervariasi sebagai fungsi dari jarak pada sayap, karena:

1. Panjang chord yang bervariasi sepanjang span sayap.
2. Sayap bisa saja dipuntir untuk mendapatkan sudut serang yang berbeda pada tiap airfoilnya.
3. Bentuk airfoil yang bisa saja berbeda sepanjang span.

BAB III

PENUTUP

3.1 Kesimpulan

Berdasarkan hukum Bernoulli, dapat kita simpulkan bahwa tekanan pada bagian atas sayap pesawat tersebut menjadi lebih rendah dibandingkan dengan bagian bawah, sehingga sayap pesawat dapat “terhisap” ke atas dan membuat pesawat menjadi terbang ke udara. Hukum Bernoulli menyatakan bahwa kenaikan kecepatan aliran fluida akan menyebabkan penurunan tekanan fluida secara bersamaan atau penurunan energi potensial fluida tersebut. Intinya adalah tekanan akan menurun jika kecepatan aliran fluida meningkat.

Gaya angkat pada suatu permukaan sayap akan terjadi jika terdapat perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah. Perbedaan ini akan terjadi sepanjang span, kecuali pada ujung sayap. Pada ujung sayap ini akan terjadi proses ekualisasi tekanan sehingga aliran udara mengalami rotasi di sekitar ujung sayap. Dengan demikian secara efektif, aliran di sekitar sayap adalah aliran 3D. Rotasi pada ujung sayap ini disebut wing tip vortex, yang seiring dengan gerak maju pesawat, wing tip vortex akan bergerak ke belakang sayap sekaligus ke bawah.

3.2 Saran

Saya menyadari bahwasan nya makalah ini disusun dengan banyak kekurangan, oleh sebab itu saya meminta kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki makalah ini dan juga saya harapkan kepada para pembaca untuk membaca dari referensi yang lain untuk meminimalisir kesalahpahaman dan agar memperluas pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Mulyadi, M. (2010). ANALISIS AERODINAMIKAPADA SAYAP PESAWAT TERBANG DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE BERBASISCOMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD). *Skripsi Program Studi Teknik Mesin*.
- Fitriyah, Q. (2020, December). APLIKASI HUKUM BERNOULLI PADA ALAT PERAGA FLOW METER UNTUK PRAKTIKUM MEKANIKA FLUIDA. In *Prosiding Seminar Nasional NCIET* (Vol. 1, No. 1, pp. 277-285).
- Sujatmika, E. (2006). Perhitungan Kekuatan Struktur Sayap Pesawat Terbang STX-800. *Mekanikal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2), 1-9.
- Buton, A. (2010). *Teori fluida statis dan dinamis serta aplikasinya dalam kehidupan* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Malang).
- Hidayat, M. F. (2016). Analisa Aerodinamika Airfoil Naca 0021 dengan Ansys Fluent. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 1(1), 43-59.