

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Terowongan Udara (*Wind Tunnel*)

Terowongan udara adalah alat yang digunakan dalam penelitian aerodinamika untuk mempelajari efek dari udara yang bergerak melewati benda padat. Terowongan udara digunakan untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamika dalam bidang aeronautika, dan untuk menganalisis kinerja mekanika terbang (*flight mechanic*) dari suatu benda terbang. Terowongan udara terdiri dari sebuah terowongan yang memiliki bagian tertutup dengan objek yang diuji dipasang di tengah dan sebuah kipas yang kuat menggerakkan udara melewati objek. Aliran udara mungkin memiliki asap atau zat lain yang dimasukkan untuk membuat garis aliran di sekitar objek terlihat. Terowongan udara banyak digunakan dalam pengujian berbagai kondisi benda dalam aliran udara seperti konstruksi gedung pencakar langit dan desain alat transportasi



Gambar 2.1 Terowongan udara

Sumber : www.indiamart.com

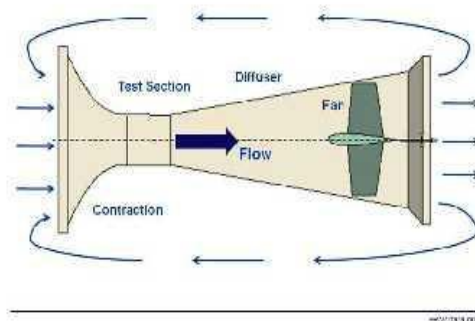
2.1.1. Klasifikasi Terowongan Udara

Berbagai macam terowongan udara yang telah ada, seperti yang dibuat oleh *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, *McDonnell Aircraft Company*, *NASA*, *Boeing*, dan *Airbus* menghasilkan terowongan udara dengan model yang berbeda-beda, namun tujuan pembuatan terowongan udara tetap sama. Oleh karena itu terowongan udara diklasifikasikan sebagai berikut :

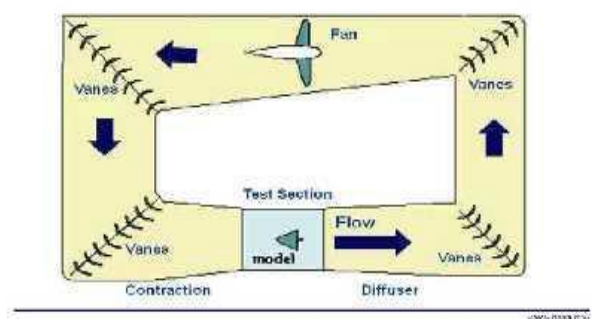
1. Berdasarkan jalur rangkaiannya
2. Berdasarkan instalasi terowongannya

2.1.1.1. Berdasarkan Jalur Rangkaian

Berdasarkan jalur rangkaiannya terowongan udara dibagi dalam dua rangkaian, yang pertama adalah rangkaian terbuka atau *open circuit wind tunnel* (Gambar 2.1 a) dan yang kedua adalah rangkaian tertutup atau *closed circuit wind tunnel* (Gambar 2.1 b).



(a)



(b)

Gambar 2.2 (a) *Open circuit wind tunnel* (b) *Close circuit wind tunnel*
Sumber : www.eprints.undip.ac.id

Tipe rangkaian terbuka adalah tipe dimana udara mengalir dari sisi masuk hingga ke sisi luar dan udara yang masuk terowongan udara akan terbuang keluar lingkungan. Ada beberapa keuntungan terowongan udara tipe terbuka, diantaranya adalah biaya konstruksi yang relatif murah daripada tipe tertutup dan bisa menggunakan motor bakar jika desain terowongan udara tersebut meletakkan motornya pada bagian dalam terowongan. Sedangkan kekurangannya adalah operasinya sangat dipengaruhi kondisi cuaca jika pengujian dilakukan di luar ruangan, maka pengoperasian terowongan udara dihentikan karena sisi masuk dan sisi keluar yang terbuka akan memudahkan air masuk dalam terowongan udara dan dapat menyebabkan kerusakan beberapa komponen terowongan udara. Dan yang kedua adalah masalah kebisingan. Jika terowongan udara dioperasikan dalam suatu ruangan, maka akan menimbulkan gangguan pendengaran pada operator jika pengoperasiannya terlalu lama. (Lit. 1)

Sedangkan tipe rangkaian tertutup adalah tipe dimana udara mengalir secara kontinu dalam terowongan udara, artinya udara yang masuk akan terus mengalir selama pengoperasian terowongan udara dan udara tidak terbuang keluar lingkungan. Ada beberapa keuntungan terowongan udara tipe rangkaian tertutup diantaranya adalah yang pertama operasinya tidak dipengaruhi cuaca karena tiap sisinya tertutup dan yang kedua adalah tidak terlalu bising jika dibandingkan tipe rangkaian terbuka karena suara yang dihasilkan udara dan motor teredam oleh dinding terowongan udara yang tertutup. Sedangkan kekurangannya adalah yang pertama masalah biaya konstruksinya yang relatif lebih mahal dari pada terowongan udara rangkaian terbuka, dan yang kedua adalah jika desain tersebut menggunakan motor bakar maka dibutuhkan saluran tambahan sebagai saluran gas buang dari motor bakar. (Lit. 2)

2.1.1.2. Berdasarkan Instalasi Terowongan

Instalasi terowongan dalam terowongan udara dibagi menjadi tiga, yaitu terowongan udara dengan instalasi terowongan di belakang kipas, terowongan udara dengan instalasi terowongan di depan kipas, dan terowongan udara dengan instalasi terowongan berkesinambungan.

2.1.2. Bagian – Bagian Terowongan Udara

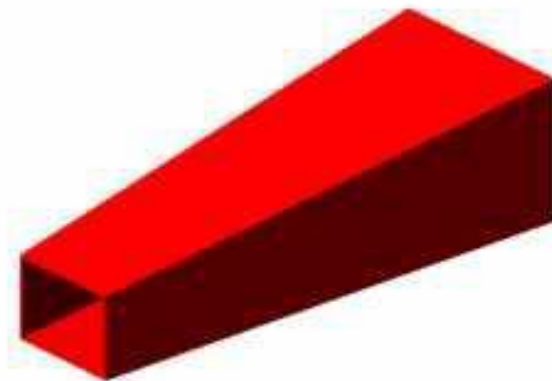
Pada umumnya terowongan udara terdiri atas kipas, *diffuser*, ruang uji, *contraction*, dan *settling chamber*.

Kipas adalah bagian utama penggerak udara. Untuk dapat menggerakkan kipas maka dibutuhkan suatu penggerak kipas. Kipas dihubungkan dengan poros motor penggerak supaya kipas dapat berputar dan menghasilkan udara. Jenis kipas yang digunakan ada dua, yaitu jenis kipas aliran aksial dan jenis kipas aliran radial. Kipas aliran aksial sering digunakan dalam terowongan udara rangkaian terbuka karena arah aliran udara yang sejajar dan segaris dengan poros motor penggerak dan tidak membutuhkan pengarah. Kipas aliran radial memiliki arah aliran udara yang tegak lurus dengan poros motor penggerak.



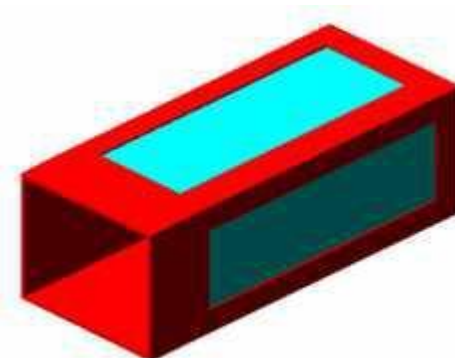
Gambar 2.3 Kipas
Sumber : www.eprints.undip.ac.id

Pada terowongan udara, *diffuser* (Gambar 2.4) adalah ruang yang memiliki luas penampang yang perlahan-lahan melebar. *Diffuser* berfungsi sebagai komponen yang menyebabkan kenaikan tekanan pada udara. Ketika udara melalui *diffuser* maka tekanannya akan naik, tetapi kecepatannya menurun, sesuai dengan Prinsip Bernoulli menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida peningkatan kecepatan pada fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut, atau sebaliknya.



Gambar 2.4 *Diffuser*

Ruang uji (Gambar 2.5) adalah bagian dari terowongan angin untuk meletakkan model yang akan diuji. Dimensi ruang uji disesuaikan dengan dimensi model yang akan diuji, kemudian dimensi tersebut ditentukan dengan dimensi model dan diberi toleransi ukuran. Bagian ruang uji harus cukup panjang dengan tujuan meredam gangguan aliran. Ruang uji biasanya dibuat dari bahan bening seperti kaca atau akrilik dengan tujuan benda uji atau model dapat terlihat.



Gambar 2.5 Ruang Uji

Contraction (Gambar 2.6) adalah ruang yang memiliki luas perlahan-lahan mengecil. *Contraction* memiliki fungsi yang berlawanan dari *diffuser*. *Contraction* merupakan komponen yang dapat menyebabkan kenaikan kecepatan udara dan penurunan tekanan udara dikarenakan terjadinya perbedaan luasan ujung dari *contraction*.

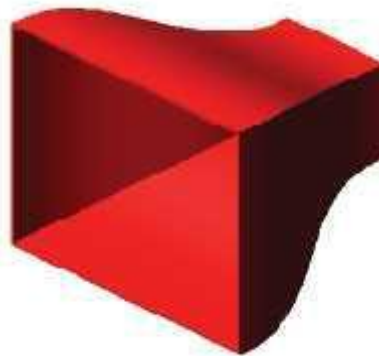
Untuk mengetahui perbedaan kecepatan udara yang terjadi dapat menggunakan persamaan kontinuitas : $V_1.A_1 = V_2.A_2$

Dimana : V_1 = Kecepatan udara saat masuk *contraction*

V_2 = Kecepatan udara saat keluar *contraction*

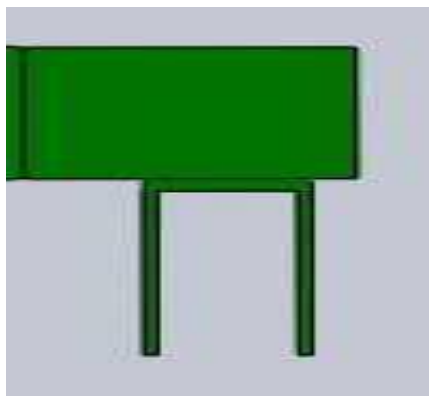
A_1 = Luas lubang masuk *contraction*

A_2 = Luas lubang keluar *contraction*



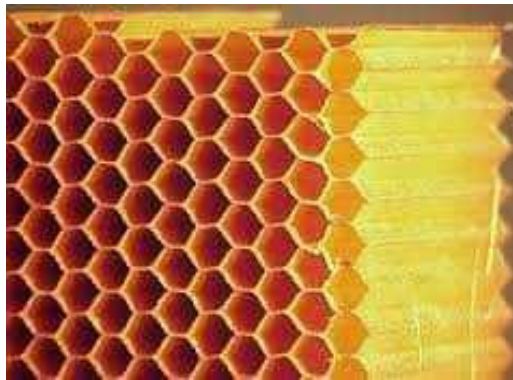
Gambar 2.6 *Contraction*

Settling chamber terletak diantara *inlet* terowongan udara dan *contraction cone*. *Settling chamber* disebut juga dengan ruang penenang berfungsi untuk mengurangi turbulensi aliran didalam terowongan. Didalam *settling chamber* diletakan *honeycomb*.



Gambar 2.7 *Settling chamber*

Honeycomb berbentuk seperti sarang lebah dan bersaluran lurus. *Honeycomb* berfungsi untuk mengurangi turbulensi aliran. Ketika aliran udara turbulen masuk dan melalui *honeycomb*, maka aliran tersebut akan menjadi aliran laminar.



Gambar 2.8 *Honeycomb*
Sumber : chegg.com

2.1.3. Prinsip Kerja Terowongan Udara

Pada terowongan udara rangkaian terbuka memiliki motor penggerak menghasilkan energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Kipas terhubung dengan poros motor penggerak, dan ketika poros penggerak berputar maka kipas ikut berputar. Putaran kipas menyebabkan aliran udara dengan kecepatan tertentu. Aliran udara yang dihasilkan kipas belum laminar. Kemudian aliran udara tersebut masuk dalam sisi *inlet* terowongan udara. Setelah aliran udara masuk sisi *inlet* terowongan udara, aliran udara tersebut masuk kedalam tiap lubang *honeycomb*. Setelah melalui *honeycomb* aliran udara yang turbulen berubah menjadi aliran yang laminar. Kemudian aliran tersebut masuk kedalam *contraction*, dan setelah melewati *contraction* maka kecepatan aliran udara meningkat. Setelah melewati *contraction*, aliran udara masuk kedalam ruang uji, dan setelah melewati ruang uji aliran udara terbuang keluar lingkungan. (Lit. 1)

Pada terowongan udara rangkaian tertutup seperti pada gambar 2.2(b) motor penggerak menghasilkan energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Kipas terhubung dengan poros motor penggerak, dan ketika poros penggerak berputar maka kipas ikut berputar.

Putaran kipas menyebabkan aliran udara dengan kecepatan tertentu. Selain menggunakan motor, kipas juga bisa bergerak menggunakan kipas dengan sumber daya listrik. Kemudian aliran udara tersebut belok dan diarahkan oleh sudu pengarah (*vane*), lalu setelah beberapa jarak melewati terowongan, aliran udara tersebut kembali belok dan diarahkan oleh sudu pengarah. Kemudian aliran udara tersebut masuk kedalam *contraction*, dan setelah melewati *contraction* maka kecepatan aliran udara akan meningkat. Setelah melewati *contraction*, aliran udara tersebut masuk kedalam ruang uji. Setelah melalui ruang uji, aliran udara tersebut masuk kedalam *diffuser*, dan setelah melewati *diffuser* maka kecepatan aliran udara akan turun. Setelah melewati *diffuser*, aliran udara tersebut belok dan diarahkan oleh sudu pengarah, lalu setelah beberapa jarak melewati terowongan, aliran udara tersebut kembali belok dan diarahkan oleh sudu pengarah, dan aliran udara tersebut tidak terbuang keluar lingkungan, melainkan dihisap kembali oleh kipas. (Lit. 1)

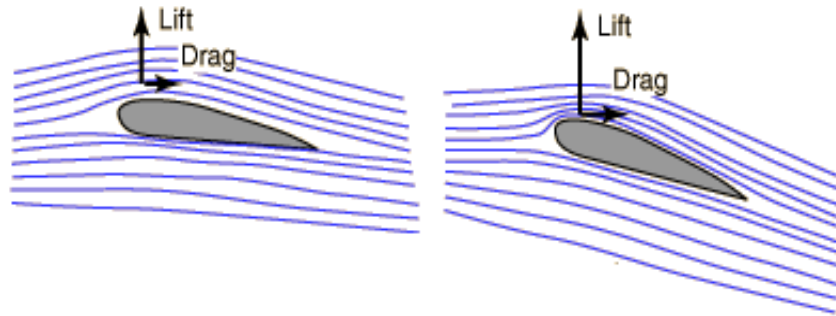
2.2 Aliran Udara

Udara merupakan salah satu jenis fluida. Udara dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain akibat adanya perbedaan tekanan udara. Aliran udara berdasarkan bentuknya terbagi menjadi dua, yaitu aliran udara laminar dan aliran udara turbulen.

2.2.1 Aliran Udara Laminar

Aliran laminar adalah aliran udara yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah dan fluidanya bergerak sejajar (laminar) & mempunyai batasan-batasan yang sejajar. Aliran laminar adalah aliran udara tanpa arus turbulen (pusaran). Udara mengalir atau bergerak dengan bentuk garis lurus dan sejajar. Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran. Aliran laminar mempunyai Bilangan Reynold lebih kecil dari 2300.

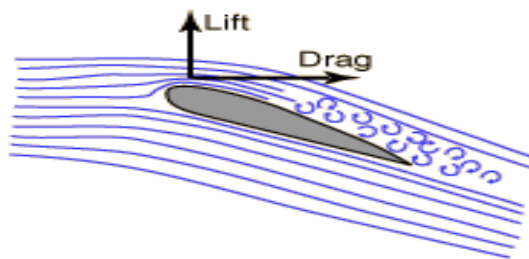
Aliran udara laminar di dalam dunia penerbangan sangat dibutuhkan. Dengan adanya aliran udara tersebut, penampang sayap dapat menghasilkan gaya angkat berdasarkan prinsip Bernoulli.



Gambar 2.9 Aliran laminar

Sumber : <http://www.paul.moggach.yorksoaring.com>

2.2.2 Aliran Udara Turbulen



Gambar 2.10 Aliran turbulen

Sumber : <http://www.paul.moggach.yorksoaring.com>

Aliran turbulen adalah aliran udara yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Besarnya gerakan turbulen bervariasi dari mikro hingga makro. Aliran turbulen mempunyai bilangan Reynold yang lebih besar dari 4000.

Dalam dunia penerbangan aliran udara turbulen sangat dihindari. Adapun dampak yang dihasilkan dari aliran udara ini adalah membuat pesawat kehilangan gaya angkatnya sehingga pesawat mengalami kecelakaan. Sebagian besar kecelakaan pesawat diakibatkan oleh aliran udara turbulen.

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang akan menentukan jenis dari aliran berdasarkan kecepatan aliran yang melalui diameter tertentu dibanding dengan kekentalannya, sehingga dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$RE = \frac{vD}{V} \quad (2.1 \text{ Lit. 2})$$

Dimana : v = Kecepatan fluida yang mengalir (m/s)

D = Diameter dalam pipa (m)

V = Kekentalan kinematik fluida (m^2/s)

2.3 Airfoil

Airfoil adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya. Dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*. *Airfoil* merupakan bentuk dari potongan melintang sayap yang dihasilkan oleh perpotongan tegak lurus sayap terhadap pesawat. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa koefisien gaya angkat, dan kemudian akan terkait dengan gaya angkat.



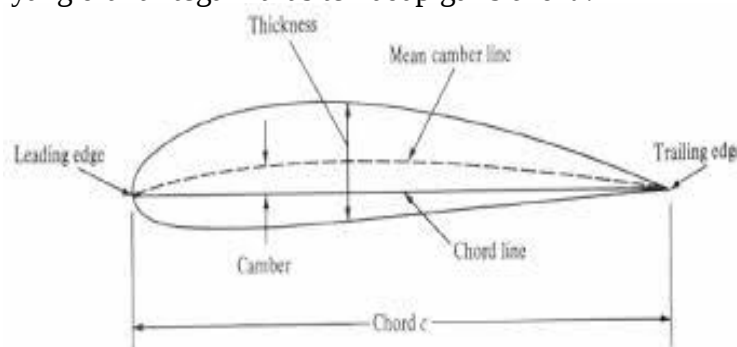
Gambar 2.11 *Airfoil*

Sumber : www.hiveminer.com

2.3.1 Bagian Bagian Airfoil

Hingga sekitar Perang Dunia II, *airfoil* yang banyak digunakan adalah hasil riset Gottingen. Selama periode ini banyak pengujian *airfoil* dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset NACA lah yang paling terkemuka. NACA adalah lembaga milik Amerika Serikat yang bergerak di bidang penelitian aeronautika. 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 maksimal ketebalan, posisi maksimal bentuk melengkung, dan hidung jari-jari. Seperti terlihat pada gambar 2.12 suatu *airfoil* terdiri dari :

- a. *Mean camber line* : adalah tempat kedudukan titik-titik antara permukaan atas dan bawah *airfoil* yang diukur tegak lurus terhadap *mean camber line* itu sendiri.
- b. *Leading edge* : adalah titik paling depan pada *mean camber line*
- c. *Trailing edge* : adalah titik paling belakang pada *mean camber line*
- d. *Chord line* : adalah garis lurus yang menghubungkan antara *leading edge* dan *trailing edge*
- e. *Camber* : adalah jarak maksimum antara *mean camber line* dan garis *chord* yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.
- f. Ketebalan (*thickness*) : adalah jarak antara permukaan atas dan permukaan bawah yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.



Gambar 2.12 Bagian *airfoil*

Sumber : researchgate.net

2.3.2 Jenis-Jenis *Airfoil*

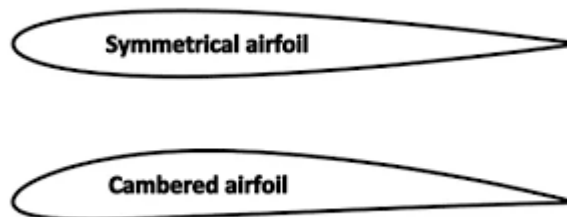
Terdapat dua jenis *airfoil*, yaitu simetris *airfoil* dan camber *airfoil*.

a. *Airfoil* Simetris :

Airfoil simetris memiliki dimensi yang sama pada bagian atas dan bagian bawah dari *chord line* nya. *Airfoil* ini bila dialiri udara dengan arah sejajar dengan tali busur (*Chord*) nya, tidak bisa menghasilkan gaya angkat. Atau dengan kata lain, gaya angkat yang dihasilkan sama dengan nol. *Airfoil* simetris hanya akan menghasilkan gaya angkat bila aliran udara yang melewatinya membentuk sudut tajam dengan tali busur. *Airfoil* simetris biasa digunakan untuk *horizontal stabilizer* atau *fin*.

b. *Airfoil* Tidak Simetris (Camber *Airfoil*)

Airfoil tidak simetris atau *airfoil* yang memiliki camber, merupakan *airfoil* yang memiliki dimensi berbeda pada bagian atas dan bawah dari *chord line* nya. *Airfoil* yang tidak simetris akan menghasilkan gaya angkat sekalipun arah aliran udara yang melewatinya sejajar dengan talibusur. Gaya angkat timbul karena adanya perbedaan tekanan udara antara diatas dan dibawah *airfoil*. Kecepatan udara dibawah lebih kecil dari pada diatas *airfoil*, sehingga tekanan dibawah lebih besar dari pada diatas *airfoil*.



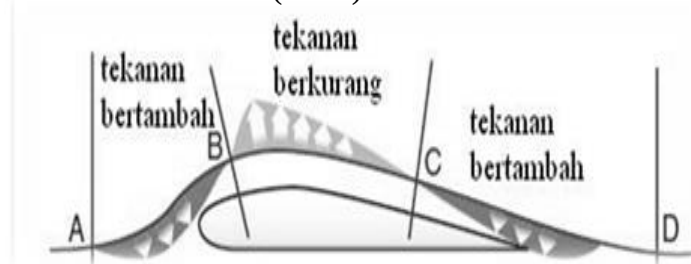
Gambar 2.13 Jenis-jenis *airfoil*

2.3.3 Karakteristik *Airfoil*

Di terowongan angin atau pada sebuah penerbangan, sebuah *airfoil* secara sederhana adalah sebuah objek *streamline* yang disisipkan pada aliran udara yang bergerak. Jika *airfoil* itu dinaikkan (mendongak) maka aliran udara akan menabrak dengan sebuah sudut

tertentu (*angle of attack*), molekul udara yang bergerak melewati permukaan atas akan dipaksa untuk bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan molekul udara yang bergerak di bawah *airfoil*, hal ini karena molekul di atas harus menjalani jarak yang lebih jauh karena lengkungan dari permukaan yang di atas. Pertambahan kecepatan ini mengurangi tekanan di atas *airfoil*. (Lit. 5)

Momentum adalah resistansi dari sebuah benda yang bergerak ketika arah dan besar gerakannya diubah. Ketika setiap benda dipaksa untuk bergerak dalam gerakan melingkar, benda tersebut akan memberikan reaksi resistansi dengan arah keluar yang berlawanan dengan pusat putaran. Ini disebut gaya sentrifugal. Seperti pada gambar 2.14 terlihat ketika partikel udara bergerak dengan arah melengkung AB, gaya sentrifugal cenderung membuangnya ke arah panah antara A dan B, sehingga menyebabkan udara untuk mendesak lebih dari tekanan normal di *leading edge*-nya *airfoil*. Tapi setelah partikel udara melewati titik B (titik berbalik arah dari arah lengkungan/kurva) gaya sentrifugal cenderung untuk membuang partikel pada arah panah antara B dan C (menyebabkan berkurangnya tekanan pada *airfoil*). Efek ini berlaku sampai partikel udara mencapai titik C, titik kedua berbalik arah dari lengkungan aliran udara. Kembali lagi, gaya sentrifugal dibalikkan dan partikel udara cenderung untuk memberi sedikit lebih tekanan dari normal pada *trailing edge* dari *airfoil* tersebut, sebagaimana digambarkan dengan panah pendek antara C dan D. (Lit. 5)



Gambar 2.14 Tekanan pada *airfoil*

Sumber : ilmuterbang.com

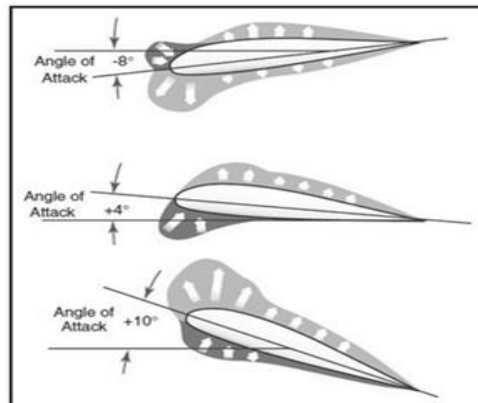
Tekanan udara dari permukaan bagian atas *airfoil* disebarkan sehingga tekanan lebih besar di *leading edge* daripada tekanan atmosfer sekitarnya,

menyebabkan tahanan yang kuat pada gerakan ke depan, tapi tekanan udara lebih sedikit daripada tekanan atmosfer sekitarnya di sebagian besar permukaan atas (B ke C). Seperti terlihat pada penggunaan teori Bernoulli pada sebuah bejana venturi, penambahan kecepatan udara pada bagian atas dari *airfoil* menyebabkan turunnya tekanan. Tekanan yang turun ini adalah salah satu komponen dari total daya angkat. Sebuah tekanan positif dihasilkan karena sifat udara yang mengalir di bawah sayap, terutama pada *angle of attack* yang tinggi. Tapi ada aspek lain dari aliran udara ini yang harus dipelajari. Pada sebuah titik di dekat *leading edge*, aliran udara sebenarnya berhenti (*stagnation point*) dan dengan bertahap kecepatannya akan bertambah. Di titik yang sama di *trailing edge*, kembali lagi aliran udara itu mencapai kecepatan yang sama dengan kecepatan aliran udara di permukaan atasnya. Sesuai dengan prinsip Bernoulli, ketika aliran udara makin pelan di bawah sayap, sebuah tekanan positif ke atas terjadi menekan sayap, jika kecepatan fluida berkurang, tekanan harus bertambah. (Lit. 5)

Pada dasarnya, hal ini hanyalah “memperkuat tekanan positif” karena kejadian ini menambah perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah dari *airfoil*, sehingga menambah total daya angkat dibandingkan jika tidak ada penambahan tekanan di bagian bawah permukaan. Kedua prinsip Bernoulli dan hukum Newton bekerja jika daya angkat diproduksi oleh sebuah *airfoil*. Dari percobaan yang dilakukan pada model di terowongan angin sebenarnya, telah diketahui bahwa pada waktu udara mengalir sepanjang permukaan dari sebuah sayap dengan *angle of attack* yang berbeda-beda, maka ditemukan bagian-bagian sepanjang permukaan di mana tekanannya adalah negatif atau kurang dari tekanan atmosfer dan juga bagian-bagian dengan tekanan positif atau lebih besar dari tekanan atmosfer. (Lit. 5)

Tekanan negatif pada permukaan atas sayap membuat gaya yang lebih besar dari pada tekanan positif yang mengenai permukaan bawah sayap. Gambar 2.15 menunjukkan penyebaran tekanan sepanjang *airfoil* pada 3 *angle of attack* yang berbeda-beda. Pada umumnya, pada *angle of attack* yang besar, pusat tekanan (*Center of Pressure*) pindah ke depan

sedangkan pada *angle of attack* yang kecil pusat tekanan berpindah ke bagian belakang. Dalam rancangan struktur sayap, pergeseran pusat tekanan ini sangat penting, karena mempengaruhi posisi beban udara yang ditanggung oleh sayap pada keadaan *angle of attack* yang kecil dan *angle of attack* yang besar. (Lit. 5)

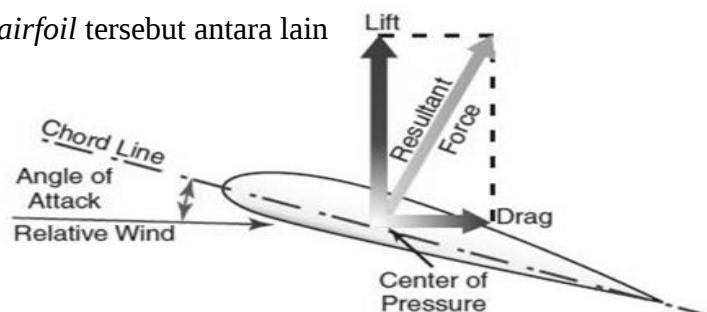


Gambar 2.15 Distribusi tekanan pada *airfoil*
Sumber : ilmutterbang.com

Keseimbangan aerodinamis dan kemampuan kendali diatur oleh perbedaan dari pusat tekanan. Pusat tekanan ditentukan oleh perhitungan dan percobaan di terowongan angin dengan cara memberikan *angle of attack* yang berbeda-beda pada *airfoil* di sepanjang jangkauan kerja normal. Pada waktu *angle of attack* diubah, karakteristik penyebaran tekanan juga berubah.

2.3.4 Gaya-Gaya pada *Airfoil*

Pada saat udara melalui *airfoil*, maka terdapat beberapa gaya yang dihasilkan dari *airfoil* tersebut antara lain



Gambar 2.16 Gaya pada *airfoil*

Sumber : ilmutterbang.com

a. Gaya Angkat

Gaya angkat adalah gaya yang arahnya tegak lurus aliran yang mengenai suatu bentuk *airfoil*. untuk menghasilkan *lift* tersebut, sayap pesawat memanfaatkan dua prinsip utama, pertama yaitu perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap, serta kedua adalah perubahan kecepatan (momentum) udara karena perubahan arah aliran udara. Pertama, untuk menghasilkan perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap, bentuk penampang potongan melintang sayap (*airfoil*) dibuat tidak simetris antara atas dan bawah, lintasan udara diatas *airfoil* dibuat lebih jauh daripada dibawah *airfoil*, sehingga dengan waktu tempuh yang sama, udara yang melewati bagian atas sayap akan memiliki kecepatan yang lebih tinggi daripada dibawah sayap, dengan prinsip Bernoulli, bahwa semakin tinggi kecepatan maka akan semakin rendah tekanan udara, maka dapat disimpulkan bahwa tekanan diatas sayap lebih rendah daripada dibawah sayap. Karena tekanan diatas sayap lebih rendah, maka sayap akan cenderung terangkat keatas. Yang kedua, yaitu prinsip perubahan kecepatan (momentum). Perubahan kecepatan dapat menghasilkan gaya, atau sesuai hukum kedua newton bahwa gaya adalah laju dari perubahan momentum. untuk menghasilkan perubahan kecepatan ini, sayap dibuat memiliki sudut relatif terhadap arah datangnya udara atau dikenal dengan *angle of attack* atau sudut serang. Besarnya gaya angkat yang dibangkitkan berbanding lurus dengan luas permukaan sayap, kerapatan udara, kuadrat kecepatan, dan koefisien gaya angkat.

Atau dapat dituliskan :

$$\text{Gaya Angkat} = C_L \frac{1}{2} \rho v^2 S \quad (2.2 \text{ Lit 2})$$

b. Gaya Hambat

Gaya hambat adalah gaya yang sejajar dengan aliran fluida yang mengenai suatu bentuk *airfoil*. *Drag* merupakan komponen gaya aerodinamika yang sejajar dengan kecepatan terbang pesawat, tetapi

arahnya berlawanan (searah dengan *relative wind*). *Drag* itu sendiri terdiri dari 2 jenis, yaitu *induced drag* dan *parasite drag*. *Induced drag* (D_i) merupakan gaya tahan yang terjadi karena adanya gaya angkat atau *lift* karena adanya perputaran aliran udara yang membelok atau biasa disebut *wing vortex* disekitar permukaan sayap. *Induced drag* (D_i) biasanya terjadi pada saat pesawat sedang tinggal landas dan juga pada waktu mendarat, yaitu pada harga C_l atau sudut serang yang tinggi atau dengan kata lain pada kecepatan rendah. Sedangkan *Parasit drag* (D_p) merupakan gaya hambat yang terjadi karena adanya gesekan antara permukaan pesawat. Ada 5 jenis *parasit drag* yaitu gaya hambat gesekan kulit, gaya hambat bentuk, gaya hambat interferensi, terjadi karena interferensi lapisan batas dari berbagai bagian pesawat terbang, gaya hambat kebocoran, gaya hambat profil yang biasa terdapat pada helikopter. Besarnya gaya hambat yang dibangkitkan berbanding lurus dengan luas permukaan sayap, kerapatan udara, kuadrat kecepatan, dan koefisien gaya hambat.

Atau dapat dituliskan :

$$\text{Gaya Hambat} = C_D \frac{1}{2} \rho v^2 S \quad (2.3 \text{ Lit 2})$$

Dimana : C_L = Koefisien Gaya Angkat

C_D = Koefisien Gaya Hambat

ρ = Massa Jenis Udara ($\frac{kg}{m^3}$)

v = Kecepatan Udara ($\frac{m}{s}$)

S = Luas sayap pesawat (m^2)

2.4 Aileron

Aileron merupakan sebuah kendali kemudi utama dari sebuah pesawat terbang. Aileron terpasang pada *trailing edge* di sayap pesawat. Aileron memiliki dua pergerakan, yaitu bergerak ke atas dan ke bawah. Gerakan dari aileron ini akan menyebabkan sebuah pesawat melakukan gerakan bergulung (*roll*). Gerakan *roll* ini terjadi dikarenakan saat aileron dioperasikan gerakannya berbeda satu

sama lain di kedua sayap pesawat. Sebagai contoh jika *control column* dari sebuah pesawat digerakkan ke kanan maka aileron pada sayap kanan akan naik dan aileron pada sayap kiri pesawat akan turun. Hal itu menyebabkan terjadinya perbedaan nilai gaya angkat dan gaya hambat pada kedua sayap pesawat yang mengakibatkan terjadinya gerakan *roll*.



Gambar 2.17 (a) Aileron (b) Gerakan aileron
Sumber : <http://aeroengineering.co.id>

2.5 Pengukuran Kecepatan Angin

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang digunakan dalam bidang meteorologi dan geofisika seperti BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika).



Gambar 2.18 Anemometer
Sumber : jaycar.com

Anemometer bekerja dengan adanya hembusan angin yang mengenai baling-baling pada anemometer. Putaran dari baling-baling tersebut akan di konversi menjadi sebuah besaran dalam bahasa matematika. Baling-baling pada anemometer digunakan sebagai alat reseptor atau yang menangkap suatu rangsangan berupa hembusan angin. Setelah baling-baling berputar maka menggerakkan sebuah alat yang akan mengukur kecepatan angin yang berhembus melalui putaran dari baling-baling anemometer. Berdasarkan jumlah putaran per detiknya, maka akan diketahui jumlah dari kecepatan anginnya. Pada anemometer terdapat bagian alat pencacah yang berfungsi menghitung jumlah kecepatan angin dengan mengambil data dari bahasa matematika yang telah dikonversikan. (Lit. 7)

2.6 Sistem Penggerak Airfoil dan Aileron

2.6.1 Motor Servo

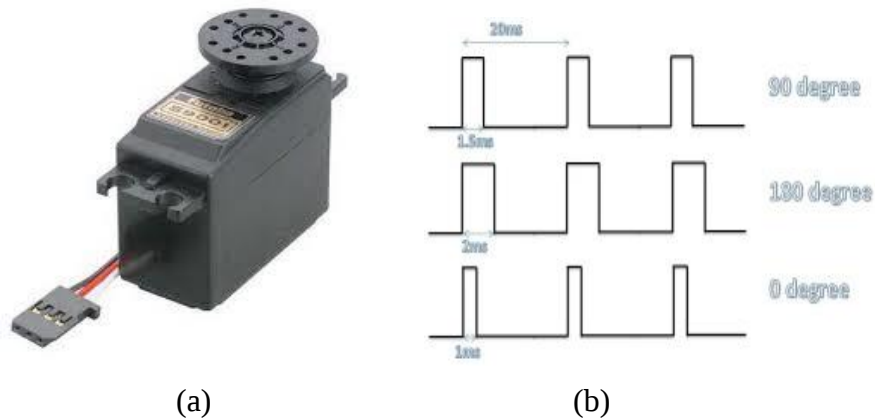
Motor servo adalah jenis motor DC dengan sistem umpan balik tertutup yang terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol, dan juga potensiometer. Jadi motor servo sebenarnya tak berdiri sendiri, melainkan didukung oleh komponen-komponen lain yang berada dalam satu paket. Motor servo dapat menampilkan gerakan 0 derajat, 90 derajat, 180 derajat, hingga 360 derajat

Motor servo merupakan salah satu jenis motor DC yang sering diaplikasikan dalam bidang robotik. Biasanya motor servo digunakan untuk penggerak lengan atau persendian robot karena memiliki kemampuan dapat berputar searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam.

Sebenarnya prinsip kerja dari motor servo tak jauh berbeda dibanding dengan motor DC yang lain. Hanya saja motor ini dapat bekerja searah maupun berlawanan jarum jam. Derajat putaran dari motor servo juga dapat dikontrol dengan mengatur pulsa yang masuk ke dalam motor tersebut.

Motor servo akan bekerja dengan baik bila pin kontrolnya diberikan sinyal dengan frekwensi 50 Hz. Frekuensi tersebut dapat diperoleh ketika kondisi Ton duty cycle berada di angka 1,5 ms. Dalam posisi tersebut rotor dari motor berhenti tepat di tengah-tengah alias sudut nol derajat atau netral.

Pada saat kondisi Ton duty cycle kurang dari angka 1,5 ms, maka rotor akan berputar berlawanan arah jarum jam. Sebaliknya pada saat kondisi Ton duty cycle lebih dari angka 1,5 ms, maka rotor akan berputar searah jarum jam. (Lit. 9)



Gambar 2.19 (a) Motor servo (b) Pulsa motor servo
Sumber : elektronika-dasar.web.id

2.6.2 Microprocessor Arduino

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware*nya memiliki prosesor Atmel AVR dan *software*nya memiliki bahasa pemrograman sendiri. (Lit. 10)



Gambar 2.20 Microprocessor Arduino
Sumber : learn.sparkfun.com

Maksud dari pengendali mikro single-board berarti arduino merupakan perangkat khusus berupa modul elektronik yang bentuk dan komponennya

sudah jadi dan siap pakai. Jadi kita tidak perlu solder-menyolder dan tidak perlu memikirkan rangkaian elektroniknya. Kita bisa langsung fokus bagaimana cara menghubungkan Arduino ke komputer dan memprogramnya. Sedangkan *open-source* berarti perangkat ini bebas dikembangkan oleh siapa saja dan dibuat oleh siapa saja. Namun, tetap ada standar dari pembuatnya.

Wiring platform adalah *platform* elektronik open source yang terdiri dari tiga komponen yaitu bahasa pemrograman, software IDE (*integrated development environment*), dan sebuah perangkat mikrokontroler. Jadi, Arduino memiliki 3 komponen khusus : Alatnya khusus, Bahasa pemrograman khusus, dan software untuk memprogram juga khusus.

Terdapat beberapa jenis dari arduino, yaitu :

- | | |
|---------------------|---------------------|
| a. Arduino Uno | g. Arduino Ethernet |
| b. Arduino Leonardo | h. Arduino Mini |
| c. Arduino Nano | i. Arduino Robot |
| d. Arduino Mega | j. Arduino Micro |
| e. Arduino Due | k. Arduino Esplora |
| f. Arduino Lilypad | l. Arduino Fio |

2.7 Perawatan dan Perbaikan

Pengertian Perawatan dan Perbaikan

Perawatan adalah suatu upaya yang dilakukan pada suatu objek untuk menjaga kondisi objek tetap dalam keadaan prima serta memperpanjang umur pakai objek tersebut. Sedangkan perbaikan adalah suatu upaya yang dilakukan untuk mengembalikan fungsi dan guna suatu alat yang telah mengalami kerusakan.

Tujuan dari Perawatan dan Perbaikan

Tujuan dari pelaksanaan kegiatan perawatan dan perbaikan antara lain sebagai berikut :

1. Agar suatu alat selalu dalam keadaan siap pakai
2. Memiliki kemampuan elektrik dan mekanis yang baik
3. Agar biaya perbaikan alat menjadi hemat

Klasifikasi dari Perawatan dan Perbaikan

Kegiatan perawatan dan perbaikan terbagi menjadi dua bagian yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. *Preventive maintenance* dilakukan untuk mencegah kerusakan pada unit atau komponen sedangkan *corrective maintenance* dilakukan setelah komponen mengalami gejala kerusakan. Berikut penjelasan tentang kedua jenis *maintenance* tersebut

a. Preventive Maintenance

Preventive maintenance adalah perawatan yang dilakukan dengan tujuan untuk mencegah kemungkinan timbulnya gangguan atau kerusakan pada alat. *Preventive maintenance* terbagi menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Periodic Maintenance

Periodic Maintenance adalah pelaksanaan servis yang dilakukan setelah unit beroperasi dalam jumlah jam tertentu.

2. Schedule Overhaul

Schedule Overhaul adalah jenis perawatan yang dilakukan pada interval tertentu sesuai dengan standar *overhaul* masing-masing komponen yang ada

3. Conditioned Based Maintenance

Conditioned Based Maintenance adalah jenis perawatan yang dilakukan berdasarkan kondisi unit tersebut.

b. Corrective Maintenance

Corrective Maintenance adalah perawatan yang dilakukan untuk mengembalikan alat ke kondisi standar melalui kegiatan perbaikan atau penyetelan. *Corrective Maintenance* terbagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Brakedown Maintenance

Brakedown Maintenance adalah perawatan yang dilaksanakan setelah alat rusak dan tidak bisa digunakan

2. Repair and Adjustment

Repair and Adjustment adalah perawatan yang sifatnya memperbaiki kerusakan yang belum parah atau belum mengalami *brakedown* (tidak bisa digunakan)

2.8 Rumus yang Digunakan

Pada pembuatan alat ini terdapat beberapa rumus yang digunakan, antara lain

Stall Torque

Rumus ini digunakan untuk mengetahui batas nilai torsi yang membuat motor servo berhenti bergerak. Jika motor mengalami *stall torque*, maka akan beakibat fatal yaitu motor tidak bisa bekerja lagi akibat kelebihan beban. Untuk mengetahui nilai stall torque (kg/cm) kita membutuhkan nilai massa (kg) dan panjang lengan (cm) dari servo yang memutar benda tersebut

$$\text{Stall Torque} = \frac{\text{massa}}{\text{panjang lengan}} \quad (2,4 \text{ Lit. 9})$$

Momen Lengan

Rumus ini digunakan untuk menentukan besaran gaya yang berkerja untuk menahan benda uji tetap tegak lurus dengan gravitasi bumi. Rumus untuk mencari momen lengan adalah

$$T = F \times l$$

Dengan : T = Momen Lengan (N.m)

F = Gaya (N)

l = Panjang lengan (m)

Tegangan Geser

Nilai tegangan geser berguna untuk mengetahui batasan kekuatan komponen untuk tidak putus saat menahan beban. Tahanan geser disimbolkan dengan (τ). Untuk mencari nilai tahanan geser digunakan rumus

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Dengan : τ = Tegangan (Pa)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m^2)