

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang optimal, penulis melakukan kajian dari penelitian terdahulu sehingga dapat dijadikan referensi dalam penelitian dengan tujuan diperoleh perbandingan kelebihan dan saran pada suatu rancangan.

Pada rancang bangun sebelumnya yang dilakukan oleh Arief Fathurrahman Wahid dkk (2018), dalam Laporan Akhir yang berjudul “*Rancang Bangun Simulator Aliran Udara Terhadap Penampang Lintang Sayap*”. Pada rancang bangun yang dibuat dengan tujuan untuk simulasi fenomena kecepatan aliran udara dengan tiga ukuran *contraction* yang berbeda terhadap *angle of attack* yang berbeda pada penampang sayap pesawat. Dalam hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan *angle of attack* dapat mempengaruhi bentuk aliran udara yang melewati *airfoil*. Sedangkan perubahan dimensi dari *contraction* mempengaruhi kecepatan aliran udara. Untuk simulasi *streamline* pada rancang bangun ini tidak dapat dilakukan sesuai rancangan karena mesin penghasil asap tidak optimal dalam menghasilkan asap sehingga asap tidak masuk kedalam *test chamber* untuk mensimulasi kan *streamline* pada *airfoil*. Data yang diperoleh berdasarkan eksperimen yang telah di uji oleh peneliti sebelumnya. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa saran untuk peneliti selanjutnya adalah dengan melakukan modifikasi pada benda uji yang ditambahkan *flap*, *spoiler*, *slat*, ataupun *slot*.

Dalam melakukan rancang bangun terowongan angin, penulis membuat suatu perbandingan serta persamaan dan perbedaan antara peneliti sebelumnya dengan penelitian yang sedang dilakukan dalam beberapa kategori. Data tersebut penulis ambil dengan metode studi literatur. Antara lain:

Tabel 2.1 Perbandingan penelitian sebelumnya dan yang sedang dilakukan

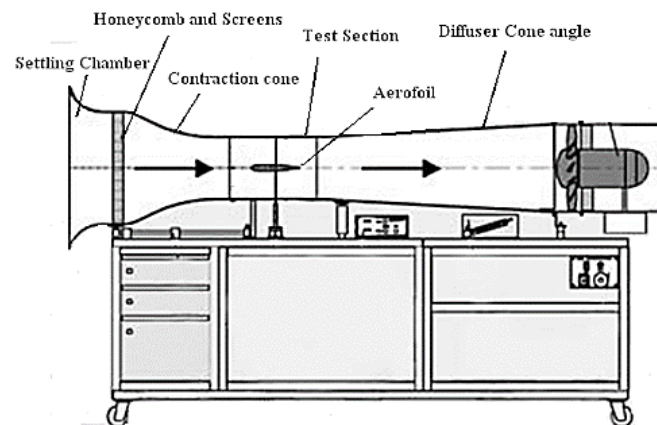
Kategori	Penelitian Sebelumnya	Penelitian yang sedang dilakukan
Bagian <i>windtunnel</i>	1. <i>Settling Chamber</i> 6 ( <i>Plywood</i> 5 mm) 2. <i>Contraction</i> ( <i>Plywood</i> 5 mm) 3. <i>Test Chamber</i> ( <i>Plywood</i> 5 mm) 4. <i>Diffuser</i> ( <i>Plywood</i> 5 mm) 5. <i>Honeycomb</i> (Sedotan Plastik) 6. <i>CPU Fan</i>	1. <i>Settling Chamber</i> (Triplek Melamin 3 mm) 2. <i>Constraction</i> (Triplek Melamin 3 mm) 3. <i>Test Chamber</i> (Arkrilik 4 mm dan Triplek Melamin 3 mm) 4. <i>Diffuser</i> (Triplek Melamin 3 mm) 5. <i>Fan</i> (Kipas Tornado)
Komponen	1. Pembuat Asap (Obat Nyamuk) 2. Kipas CPU 3. Motor Servo (Futaba s3003) 4. Arduino Uno 5. Project Board 6. Adaptor 12 VDC 7. Meja	1. <i>DC Motor Brushless</i> 2. Servo Tester 3. <i>Sensor Load Cell</i> 4. <i>Sensor IR Proximity</i> 5. Potensiometer 4. <i>Anemometer</i> 5. Motor Servo 6. <i>Propeller</i>
Benda Uji	<i>Airfoil NACA 2424</i> dengan <i>wingspan</i> 160 mm	<i>Airfoil NACA 4412</i> dengan <i>wingspan</i> 250 mm dan <i>wingchord</i> 150 mm
Tujuan	Simulasi beberapa teori yang menyangkut fenomena aliran udara terhadap perbedaan <i>angle of attack</i> pada penampang sayap pesawat.	Membuktikan adanya gaya angkat pada <i>airfoil</i> serta adanya gaya hambat yang dihasilkan oleh <i>aileron</i> disekitar <i>airfoil</i> terhadap perbedaan kecepatan udara.

Kategori	Penelitian Sebelumnya	Penelitian yang sedang dilakukan
Desain <i>windtunnel</i>		
Desain <i>Airfoil</i>	 <p data-bbox="566 1355 821 1388"><i>Airfoil NACA 2424</i></p>	 <p data-bbox="1005 1265 1252 1299"><i>Airfoil NACA 4412</i></p>
Data yang di uji	Analisa pengujian kecepatan udara dan jenis aliran udara pada pengaruh ukuran <i>contraction</i> dan <i>angle of attack</i> yang berbeda.	Analisa pengujian gaya angkat ( <i>lift</i> ) dan gaya hambat ( <i>drag</i> ) terhadap kecepatan udara yang dipengaruhi oleh perbedaan kecepatan udara.
Cara Kerja	Kipas CPU menyedot udara dari corong asap kemudian mendorong udara masuk ke dalam <i>contraction</i> dan <i>test chamber</i> yang melewati	<i>Motor DC Brushless</i> yang dilengkapi dengan <i>Propeller</i> mendorong udara dengan kecepatan yang variabel masuk untuk menghasilkan <i>thrust</i>

Kategori	Penelitian Sebelumnya	Penelitian yang sedang dilakukan
	<p><i>airfoil</i>. Dalam hal ini asap gagal membentuk simulasi <i>streamline</i>. <i>Airfoil</i> bersifat statis.</p>	<p>sehingga terjadinya gaya angkat pada <i>airfoil</i> dan dapat sebagai perhitungan koefisien gaya angkat (<math>C_L</math>) serta adanya <i>elevator</i> sebagai <i>pitch up</i> dan <i>pitch down</i> dari <i>airfoil</i> dan dapat melakukan perhitungan koefisien gaya hambat (<math>C_D</math>).</p>

## 2.2 Terowongan Udara (*Wind Tunnel*)

Terowongan angin adalah sebuah perangkat untuk menghasilkan sebuah pergerakan aliran udara bertujuan untuk eksperimen dalam mempelajari ilmu aerodinamis pada objek yang padat. Terowongan angin digunakan dalam berbagai macam bidang teknik, fisika, aerodinamika. Contohnya, desain komponen mobil dan pesawat diuji dengan terowongan angin untuk mengamati hambatan yang diterima objek tersebut karena aliran angin.



Gambar 2.1 Terowongan Udara [4]

### 2.2.1 Klasifikasi Terowongan Angin

Terowongan angin dapat diklasifikasikan kedalam empat jenis yang berbeda berdasarkan *Mach Number* atau berdasarkan kecepatan udara:

#### 1. *Hypersonic Wind Tunnels* ( $M > 5$ )

Tipe terowongan udara ini diaplikasikan utamanya pada roket dan kendaraan luar angkasa. Terowongan ini dianggap menghasilkan aliran hipersonik dengan kecepatan angin antara *Mach* 5 dan *Mach* 15 di bagian pengujian, dan memungkinkan sifat fisik aliran berubah dengan cepat. Pada saat pengujian dapat dilakukan secara terus menerus dan kecepatan udara bisa mencapai *Mach* 10 dan dapat dipertahankan untuk waktu yang lama.

#### 2. *Supersonic Wind Tunnels* ( $1 < M < 3$ )

Terowongan angin supersonic terdiri dari efek aliran yang dimampatkan saat beroperasi pada kondisi normal. Pada terowongan ini, *Mach number* ditentukan oleh geometris *Nozzle* dan kondisi stagnasi. Terowongan angin jenis ini dapat bekerja pada *Mach number* antara 1 sampai 3.

#### 3. *Transonic Wind Tunnels*

Terowongan angin transonic dirancang, dibuat, dan diatur untuk mempelajari fenomena aliran transonik. Pada terowongan ini, kecepatan udara maksimum pada bagian pengujian bisa mencapai kecepatan suara yaitu 340m/s atau *Mach number* 1. Terowongan angin ini tersebar luas pada industri pesawat terbang karena sebagian besar pesawat beroperasi pada kecepatan *Mach* 1.

#### 4. *Subsonic Wind Tunnels*

*Mach number* yang dapat dicapai terowongan ini kurang dari 1. Aliran maksimum dari terowongan angin subsonic sekitar 135 m/s. terowongan angin ini adalah paling murah dibandingkan terowongan angin yang lain karena kesederhaan dalam rancangan dan kecepatan angin yang rendah. Dan sering ditemukan disekolah dan universitas sebagai media pembelajaran.

### 2.2.2 Konfigurasi Terowongan Angin

Ada dua konfigurasi dasar dari terowongan angin yaitu;

#### 1. *Open Circuit*

Pada terowongan angin *open circuit* ujung dari terowongan angin tidak tertutup. Terowongan ini terdiri dari satu atau lebih *honeycombs* yang digunakan sebagai membersihkan kotoran yang ada diudara sebagaimana meningkatnya kemungkinan partikel debu masuk kedalam sistem *open circuit* dan menjadikan aliran udara menjadi aliran laminar. Penggunaan daya untuk mengoprasikan *open circuit* cukup tinggi karena hilangnya energi pada udara yang keluar dari sistem. Terowongan angin *open circuit* sangat sederhana dan paling terjangkau untuk dibangun. Pada terowongan ini, udara mengalir memasuki *contraction* menuju *test section*, diikuti oleh *diffuser*, *fan section*, dan *exhaust*. Pada *open circuit* memiliki masalah pada kebisingan suara yang berlebih serta ukuran inlet *open circuit* cukup memakan ruang yang lebih untuk mendapatkan aliran yang berkualitas tinggi.

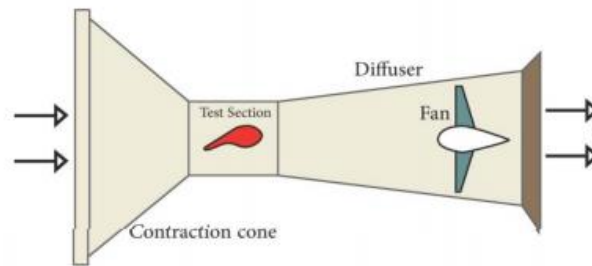
Terowongan angin *open circuit* terbagi menjadi 2 kategori yang berbeda berdasarkan lokasi dari kipas, yaitu:

##### a. *Inhale Tunnel*

Terowongan penghisap terdiri dari kipas aksial yang diletakan setelah *test section*. Pada terowongan ini biasanya lebih rentan terhadap ketidakstabilan frekuensi rendah dalam aliran balik daripada kipas, meskipun beberapa klaim telah dibuat bahwa *intake* tidak terlalu bermasalah di terowongan ini karena tidak melewati kipas sebelum memasuki *test section*.

##### b. *Exhalation Tunnel*

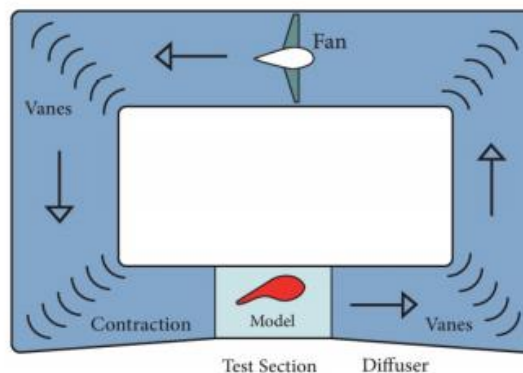
Terowongan peniup terdiri dari kipas peniup yang dimemasng pada saluran masuk yang digunakan untuk menggerakkan udara mengalir ke terowongan angin. Namun, pusaran terjadi di terowongan ini juga, tetapi terowongan ini jauh lebih tidak sensitif terhadap pusaran.



Gambar 2.2 Diagram Terowongan Udara Sirkuit Terbuka [4]

## 2. Closed Circuit

Pada terowongan *closed circuit* keluaran pada udara terhubung dengan *inlet*, udara yang sama bersikulasi melalui sistem dengan cara yang diatur. Dan kemungkinan kotoran pada udara untuk masuk kedalam sistem sangat kecil dan daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan aliran udara lebih kecil dibandingkan dengan terowongan angin *open circuit*. Terowongan ini biasanya besar dan sedikit lebih sulit untuk dibangun. Terowongan ini dibutuhkan rancangan yang perhitungan yang detail untuk memaksimalkan keseragaman dari udara yang kembali. Terowongan ini bisa dimemasangkan dengan *heat exchangers* sehingga dapat digunakan sebagai eksperimen dalam sensitivitas suhu atau membutuhkan permodelan suhu.



Gambar 2.3 Diagram Terowongan Udara Sirkuit Tertutup [4]

### 2.2.3 Bagian Terowongan Angin

Pada terowongan angin biasanya terdiri dari ;

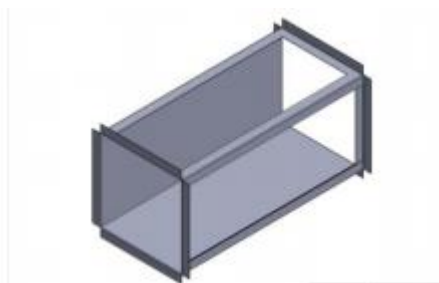
#### 1. *Settling Chamber*

*Settling chamber* adalah penampang persegi panjang sekaligus komponen paling penting dalam terowongan angin. *Settling chamber* diletakkan pada masukan dari *contraction cone* dan digunakan sebagai memperhalus aliran udara dengan mengeleminasi pusaran dan ketidakstabilan dari aliran udara. Semakin kecil turbulensi, maka semakin baik terowongan angin mensimulasi keadaan terbang.

#### 2. *Test Section*

*Test Section* atau *test chamber* adalah elemen dasar dari terowongan angin yang di rancang untuk kendaraan atau benda uji yang berbeda. Semua model aerodinamis dimemasang pada *test chamber* ketika terowongan angin aktif, dengan aliran udara yang diinginkan. Dimensi ruang uji disesuaikan dengan dimensi model yang akan diuji.

Dalam proses pembuatan *test chamber* dapat dilakukan perhitungan dalam menentukan dimensi *test chamber* dengan diawali dari penentuan ukuran dan bentuk penampangnya sendiri. Dalam menentukan dimensi *test chamber* dicari nilai diameter hidrolik penampang itu sendiri. Diameter hidrolik diumpamakan penampang yang tidak lingkaran menjadi seperti lingkaran dengan rumus,

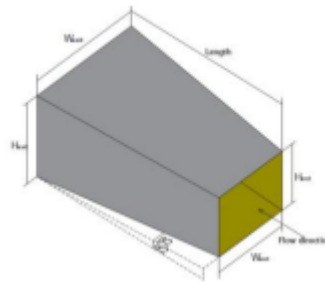


Gambar 2.4 *Test Chamber* [5]



### 3. Diffuser

*Diffuser* adalah ruang yang memiliki luas penampang yang perlahan melebar dan berfungsi sebagai komponen yang menyebabkan kenaikan tekanan pada udara namun kecepatan udaranya menurun. Barlow, Rae dan Pop menyatakan bahwa untuk *Diffuser* kerucut, divergensi setengah sudut dinding harus kurang dari  $3.5^\circ$  untuk desain “baik”. Mehta menyatakan bahwa sudut yang disertakan dalam *diffuser* untuk *diffuser* kerucut harus antara  $5^\circ$  (untuk stabilitas aliran terbaik) dan  $10^\circ$  (untuk pemulihan tekanan terbaik). Pada kasus dari terowongan angin *open circuit*, tekanan udara yang keluar harus lebih besar dari tekanan atmosfer bertujuan untuk menghindari *reverse of flow*. *Diffuser* merupakan bagian yang krusial dalam rancangan karena kenaikan tekanan yang diperoleh mengurangi Batasan daya untuk terowongan angin yang berbanding lurus dengan kubus kecepatan. Oleh karena itu, tujuan utama dari desain *diffuser* adalah untuk mencapai pemulihan tekanan maksimum pada jarak sekecil mungkin. Untuk menghindari pemisahan lapisan batas, sudut kerucut difusi dibuat  $7^\circ$  atau lebih kecil.

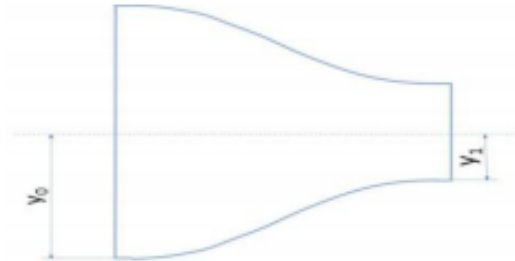


Gambar 2.5 *Diffuser* [6]

### 4. Contraction cone

Tujuan utama dari *contraction cone* adalah untuk mengakselerasi aliran udara kepada kecepatan yang diinginkan pada *test chamber*. Masukan kecepatan udara yang rendah, bagus untuk mengurangi tekanan yang hilang didalam terowongan angin. Rasio kontraksi harus cukup besar untuk menghilangkan fluktuasi aksial pada aliran dan penampang persegi

dari bagian kontraksi adalah yang terbaik. *Contraction Ratio* (CR) merupakan dari bagian *Contraction cone* optimal pada rasio antara 6 sampai 10. Rasio yang disarankan untuk desain skala kecil adalah 7. Berikut adalah skema *contraction*;



Gambar 2.6 *Contraction* [6]

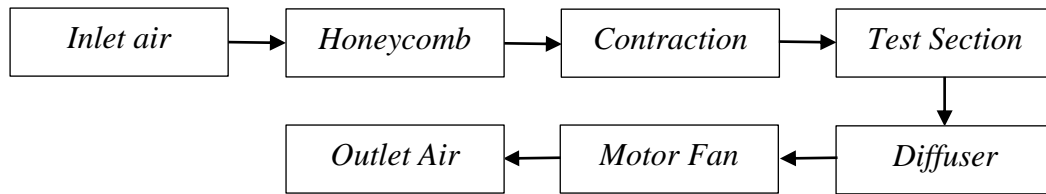
#### 5. *Fan*

*Fan* adalah bagian utama dalam penghasil udara. Untuk menggerakkan *fan* maka dibutuhkan suatu penggerak *fan*. *Fan* dihubungkan dengan poros motor penggerak supaya *fan* dapat berputar dan menghasilkan udara.



Gambar 2.7 *Propeller* dengan motor dc

### 2.2.4 Prinsip Kerja Terowongan Angin



Gambar 2.8 Skema Terowongan Udara

Pada terowongan udara dengan rangkaian terbuka memiliki motor penggerak menghasilkan energi mekanik dalam bentuk putaran panas. Kipas terhubung dengan poros motor penggerak, ketika poros penggerak berputar maka kipas ikut berputar. Putaran kipas menyebabkan aliran udara dengan kecepatan tertentu. Aliran udara yang dihasilkan kipas belum laminar atau aliran turbulensi. Untuk menghasilkan aliran udara laminar, aliran udara masuk ke dalam sisi *inlet* terowongan angin. Aliran udara masuk ke dalam *honeycomb section* yang dimana aliran turbulensi diubah menjadi aliran laminar. Kemudian aliran laminar tadi masuk ke dalam *contraction*, dan kecepatan aliran udara meningkat. Setelah itu, aliran udara masuk ke dalam *test chamber* untuk dilihat apakah ada gaya *lift*, gaya *drag* dan *streamline*. Setelah melewati *test chamber* aliran udara terbuang keluar lingkungan.

Pada terowongan udara rangkaian tertutup, 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 ke dalam *contraction*, dan setelah melewati *contraction* maka kecepatan aliran udara akan meningkat. Setelah melewati *contraction*, aliran udara tersebut masuk ke dalam ruang uji. Setelah melalui ruang uji, aliran udara tersebut masuk ke dalam

*diffuser*, dan setelah melewati *diffuser* maka kecepatan aliran udara akan turun. Setelah melewati *diffuser*, aliran udara tersebut berbelok 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 terbang keluar lingkungan, melainkan dihisap kembali oleh kipas.

### 2.3 Aliran Udara

Aliran udara termasuk fluida, dikarenakan udara adalah zat atau fasa yang dapat mengalir yang terdiri dari zat cair maupun berupa gas. Didalam fluida cair maupun gas tidak akan terlepas dari aliran yang bekerja di dalamnya. Untuk menentukan jenis aliran yang terdapat dalam suatu fluida diperlukan persamaan bilangan tanpa dimensi, yaitu Bilangan Reynold.

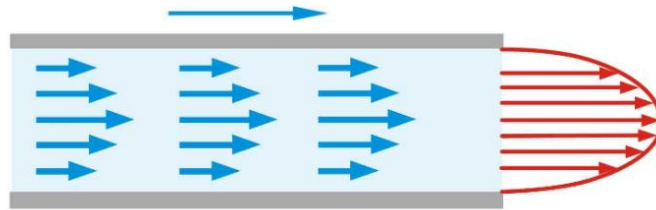
Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang akan menentukan jenis dari aliran berdasarkan kecepatan aliran yang melalui diameter tertentu dibanding dengan kekentalannya.

Aliran udara secara garis besar terbagi menjadi tiga bagian berdasarkan bentuknya, yaitu sebagai berikut:

#### 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.

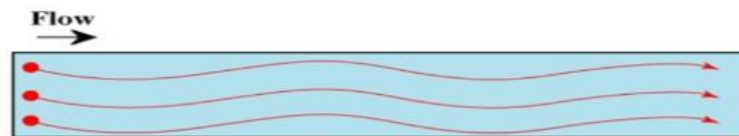
Aliran udara laminar di dalam dunia penerbangan sangat dibutuhkan. Dengan adanya aliran udara tersebut, penampang sayap dapat menghasilkan gaya angkat berdasarkan prinsip Bernoulli.



Gambar 2.9 Aliran Laminar [2]

## 2. Aliran Udara Transisi

Aliran transisi adalah aliran yang berada antara laminar dan turbulensi. Aliran ini biasanya terjadi ketika adanya perubahan penampang pada pipa, seperti adanya bentuk perubahan ukuran dimensi yang menyebabkan aliran dapat berubah dari aliran transisi menjadi aliran turbulensi. Aliran transisi memiliki bilangan Reynold antara 2100 menuju 4000.

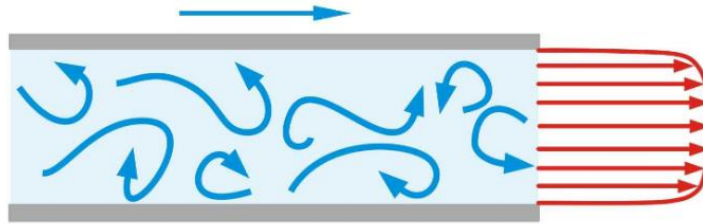


Gambar 2.10 Aliran Transisi [2]

## 3. Aliran Udara Turbulensi

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.



Gambar 2.11 Aliran Turbulensi [2]

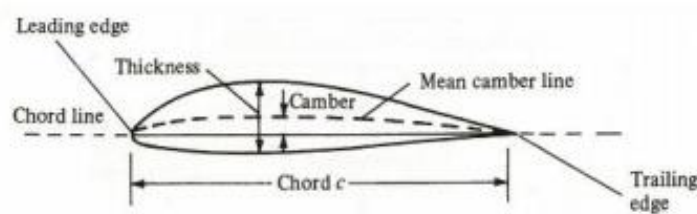
## 2.4 Airfoil

*Airfoil* atau *Aerofoil* adalah suatu bentuk geometri yang apabila ditempatkan di suatu aliran fluida akan memproduksi gaya *lift* lebih besar dari gaya *drag*. Gaya angkat terjadi pada *airfoil* karena kecepatan aliran udara di permukaan atas *airfoil* lebih rendah dari pada kecepatan aliran udara di permukaan bawahnya. Salah satu parameter geometris yang menentukan besarnya gaya angkat yang dihasilkan suatu *airfoil* adalah lokasi ketebalan maksimumnya. Semakin jauh lokasi - ketebalan maksimum dengan ujung awal maka akan mengakibatkan semakin akhir pula terjadinya peningkatan kecepatan aliran udara yang melewati permukaan *airfoil* sehingga akan menjadi salah satu faktor yang menyebabkan kecepatan rata-rata pada sepanjang permukaan tersebut menjadi lebih rendah, jika hal tersebut terjadi pada permukaan atas *airfoil* maka akan menyebabkan semakin besarnya gaya angkat yang terjadi.

Namun selain faktor tersebut masih ada faktor lain yang menentukan besarnya kecepatan rata-rata aliran udara baik di permukaan atas maupun di permukaan bawah *airfoil*, yaitu: besarnya sudut serang (*Angle of Attack*) dan besarnya kecepatan aliran udara. Untuk mengetahui kombinasi pengaruh kedua faktor di atas terhadap koefisien angkat dan koefisien hambat *airfoil* maka perlu untuk dilakukan kajian sehingga pemanfaatan *airfoil* pada berbagai bidang aplikasinya dapat dilakukan dengan lebih optimal. Pada *airfoil* terdapat bagian-bagian sebagai berikut:

1. *Leading Edge* adalah bagian yang paling depan dari sebuah *airfoil*
2. *Trailing Edge* adalah bagian yang paling belakang dari sebuah *airfoil*

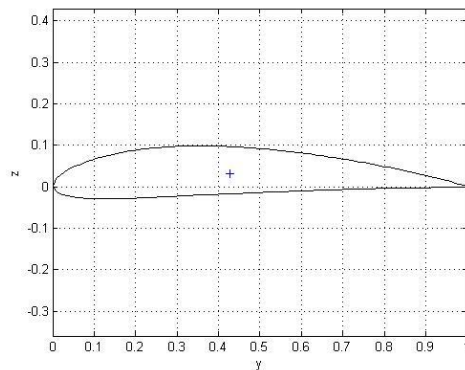
3. *Chamber Line* adalah garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan permukaan bawah dari *mean chamber line*.
4. *Chord Line* adalah garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*
5. *Maksimum Chamber* jarak maksimum antara *mean chamber line* dan *chord line*. Posisi maksimum *chamber* diukur dari *leading edge* dalam bentuk persentase *chord*.
6. *Maksimum Thickness* adalah jarak maksimum antara permukaan atas dan permukaan bawah *airfoil* yang juga diukur tegak lurus terhadap *chord line*.



Gambar 2.12 Bagian dari *Airfoil* [7]

#### 2.4.1 Klasifikasi Geometri *airfoil* NACA 4412

Berbagai macam *Airfoil* yang telah ada, seperti yang dibuat oleh American Institute of Aeronautics and Astronautics, Mc Donnell Aircraft Company, NASA, Boeing, dan Airbus. Sekitar tahun 1932, *NACA* melakukan pengujian beberapa bentuk *airfoil* yang dikenal dengan *NACA* seri 4 digit. Distribusi kelengkungan dan ketebalan *NACA* seri empat ini diberikan berdasarkan suatu persamaan. Distribusi ini tidak dipilih berdasarkan teori, tetapi diformulasikan berdasarkan pendekatan bentuk sayap yang efektif yang digunakan saat itu, seperti yang dikenal adalah *airfoil* Clark Y. Dan berikut adalah klasifikasi *airfoil* *NACA* seri 4 Digit:



Gambar 2.13 NACA 4412 [7]

Pada airfoil NACA seri empat, digit pertama menyatakan persen maksimum chamber terhadap chord. Digit kedua menyatakan persepuluh posisi maksimum chamber pada chord dari leading edge, sedangkan dua digit terakhir menyatakan persen ketebalan airfoil terhadap chord. airfoil NACA 4412 memiliki maksimum chamber 4% terletak pada 40% dari chord dan memiliki ketebalan maksimum 12% chord pada 30% dari chord. Airfoil yang tidak memiliki kelengkungan, dimana chamber line dan chord berhimpit disebut airfoil simetrik.

#### 2.4.2 Gaya pada Airfoil

Beberapa hal yang mempengaruhi kinerja dari *airfoil* dalam suatu uji coba terbang. Berikut ini adalah gaya yang bekerja pada *airfoil*, yaitu:

##### 1. Gaya Angkat (*Lift*)

Gaya *Lift* atau biasa disebut gaya angkat adalah gaya yang mengangkat suatu benda keatas yang terjadi karena tekanan dibawah benda lebih besar daripada tekanan diatas benda. Gaya angkat ini sebagian besar ditimbulkan pada sayap pesawat terbang dan biasanya digunakan untuk melawan gaya gravitasi bumi yang masih menarik pesawat tersebut ke arah bawah. Disamping itu dari hasil penelitian, gaya angkat tersebut dipengaruhi pula oleh sudut yang dibuat oleh penampang sayap dan besarnya berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida yang mengalir di sekitar sayap tersebut.



Koefisien *lift* adalah sebuah fungsi dari parameter tak berdimensi yang menunjukkan besarnya gaya angkat yang bekerja pada suatu benda yang dialiri oleh fluida.

Koefisien gaya angkat maksimum adalah harga  $C_{lmax}$  tertinggi yang dihasilkan oleh sayap pada posisi *angle of attack* maksimum. Jika *angle of attack maksimum* dilewati, maka akan terjadi kehilangan koefisien gaya angkat yang berarti sayap mengalami kehilangan gaya angkat yang disebut *stall*. Harga  $C_{lmax}$  merupakan faktor penting dari kinerja *airfoil*, karena menentukan besarnya kecepatan *stall* pesawat. Kecepatan *stall* adalah kecepatan yang dicapai pada posisi  $C_{lmax}$ . Pada saat terbang *straight* dan level (terbang lurus dan datar), *lift* (L) sama dengan berat pesawat.

$$F = C_L \frac{1}{2} \rho v^2 A \dots\dots\dots(2.1, \text{Lit. 7})$$

Dengan : F = Gaya angkat pesawat terbang (N)

$C_L$  = Koefisien gaya angkat

A = Luas sayap pesawat ( $m^2$ )

$\rho$  = Massa Jenis Udara ( $Kg/m^3$ )

v = Kecepatan udara (m/s)

Karena gaya angkat (*Lift*) merupakan sebuah Gaya (F) yang berdasarkan dari sumber Hukum Newton II yaitu percepatan yang dihasilkan oleh resultan gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya dan berbanding terbalik dengan massa benda. Sehingga nilai F didapatkan ketika massa (m) diakselerasi oleh percepatan (a). Namun pada gaya angkat, percepatan diubah menjadi kecepatan (v) dengan perubahan waktu(t)

$$F = M \times \frac{V1 - V0}{t1 - t0} \dots\dots\dots(2.2, \text{Lit. 7})$$

Dengan :  $F = \text{Gaya (N)}$

$V_1 = \text{Kecepatan Akhir (m/s)}$

$V_0 = \text{Kecepatan Awal (m/s)}$

$T_0 = \text{waktu awal (s)}$

$T_1 = \text{waktu akhir (s)}$

$M = \text{massa (gr)}$

Sebuah fakta mengungkapkan bahwa Gaya( $F$ ) yang menyebabkan perubahan pada kecepatan( $v$ ). dengan kata lain, perubahan pada kecepatan akan menghasilkan gaya ( $F$ ). Kecepatan ( $v$ ) memiliki besaran yang disebut *speed* dan arah berasosiasi dengan *speed*.

## 2.5 Sistem Penggerak, Sumber Daya dan Sensor

### 1. Motor Servo

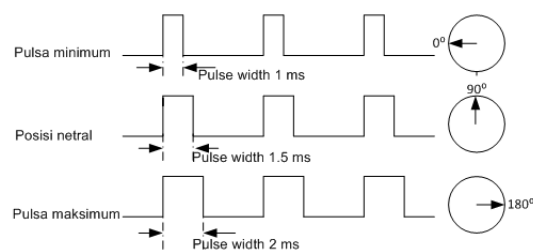
Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator pusat yang dirancang dengan sistem control umpan balik tertutup (servo), sehingga dapat di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor. Motor servo terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian control dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.



Gambar 2.14 Motor Servo [9]

Ada dua jenis motor servo, yaitu motor servo AC dan DC. Motor servo AC lebih dapat menangani arus yang tinggi, sehingga dapat diaplikasikan pada mesin industri. Sedangkan motor servo DC biasanya lebih cocok digunakan pada skala lebih kecil.

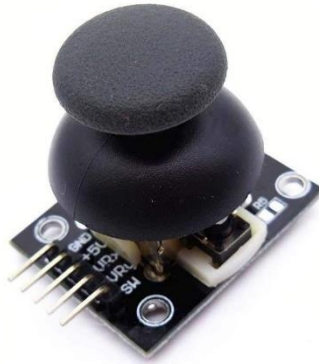
Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (Pulse Wide Modulation / PWM) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (mili detik) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut  $90^\circ$ . Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi  $0^\circ$  atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi  $180^\circ$  atau ke kanan (searah jarum jam).



Gambar 2.15 Pulsa Motor Servo [9]

## 2. Joystick Module

*Joystick module* adalah komponen penggerak berbagai arah untuk mendapatkan posisi yang diinginkan. Modul ini memiliki dua axis, yaitu axis X dan axis Y serta satu push button. Modul ini yang akan menjadi pengontrol dari motor dc brushless dan servo.



Gambar 2.16 *Joystick Module* [9]

### 3. *Brushless Motor DC*

Motor brushless biasa juga disebut dengan BLDC (BrushLess Direct Current). Seperti namanya, motor BLDC adalah jenis motor DC namun tidak memiliki sikat atau brush. Pada motor DC konvensional atau Brushed, sikat digunakan untuk mengirimkan daya ke rotor saat mereka berbalik di medan magnet tetap. Karena BLDC tidak menggunakan brush, komutasi dilakukan menggunakan rangkaian elektronik yaitu *Electronics Speed Controller* (ESC)

Motor brushless memberikan keuntungan berupa kecepatan atau RPM yang sangat tinggi. Sehingga sangat cocok untuk mesin Drone maupun kapal cepat tak berawak sebagai penggerak propeller atau baling-baling.



Gambar 2.17 *Brushless Motor DC*

#### 4. Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuatnya bekerja. Arduino Uno menggunakan ATmega16U2 yang diprogram sebagai USB to serial converter untuk komunikasi serial ke komputer melalui port USB.



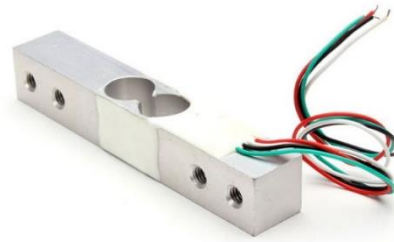
Gambar 2.18 Arduino uno [9]

#### 5. Load cell

Load Cell merupakan komponen utama pada sistem timbangan digital. Bahkan tingkat ke-akuratan suatu timbangan digital tergantung dari jenis dan tipe Load Cell yang dipakai. Load Cell merupakan komponen utama pada sistem timbangan digital. Bahkan tingkat ke-akuratan suatu timbangan digital tergantung dari jenis dan tipe Load Cell yang dipakai.

Keterangan gambar :

- a. Kabel merah adalah input tegangan sensor
- b. Kabel hitam adalah input ground sensor
- c. Kabel hijau adalah output positif sensor
- d. Kabel putih adalah output ground sensor



Gambar 2.19 *Load Cell* [10]

#### 6. *Infrared Proximity Sensor*

Sensor Infrared adalah alat pendeteksi yang bekerja berdasarkan jarak obyek terhadap sensor. Karakteristik dari sensor ini adalah mendeteksi obyek benda dengan jarak yang cukup dekat, berkisar antara 1 mm sampai beberapa centimeter saja sesuai tipe sensor yang digunakan. Sensor Infrared ini mempunyai tegangan kerja sebesar 5v DC. Jarak deteksi adalah jarak dari posisi yang terbaca dan tidak terbaca sensor untuk operasi kerjanya, ketika obyek benda digerakkan oleh metode tertentu.



Gambar 2.20 *Infrared Proximity Sensor* [10]

#### 7. Anemometer Digital

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan untuk mengukur arah. Anemometer digital juga dapat menganalisis kecepatan angin pada suatu tempat serta dapat mengetahui suhu udara.



Gambar 2.21 Anemometer Digital [10]

#### 8. *Power Supply Unit (PSU)*

Power supply adalah salah satu hardware komputer yang berperan dalam menyuplai tegangan pada setiap komponen komputer yang membutuhkan aliran arus listrik. Selain itu *Power Supply* juga dapat merubah arus listrik dari AC ke DC sebelum diteruskan ke hardware komputer lainnya. Adapun untuk besaran listrik yang dapat dialirkan yaitu mengikuti kebutuhan dari setiap hardware dan dihitung berdasarkan satuan watt. Untuk besaran daya *power supply* sekitar 150 – 350 Watt.



Power Supply

Gambar 2.22 *Power Supply Unit* [11]

## 2.6 Rumus Perancangan Terowongan Udara Sirkuit Terbuka

### 1. *Test Chamber*

*Test Chamber* merupakan bagian terowongan udara sirkuit terbuka yang pertama kali dihitung. Dalam menentukan dimensi *test chamber* dicari nilai diameter hidrolis penampang itu sendiri. Diameter hidrolis diumpakan penampang yang bukan lingkaran menjadi seperti lingkaran. Dengan menggunakan sebagai berikut;

$$D_H = \frac{4A}{P} \dots\dots\dots (2.3, \text{Lit.5})$$

dengan: A = luas penampang

P = keliling ruang

$D_H$  = Diameter hidrolis

$$L_{\text{test chamber}} = 1.5 \times D_H \dots\dots\dots(2.4, \text{Lit. 5})$$

Dengan:  $L_{\text{test chamber}}$  = Panjang *Test Chamber*

### 2. *Contraction*

*Contraction* merupakan bagian dari terowongan udara sirkuit terbuka yang dihitung setelah adanya perhitungan dari *test chamber*. Dalam menentukan dimensi area *contraction*, berada diantara rasio luas area penampang besar dan kecil dimensi 6 sampai 10 . Rasio yang disarankan untuk desain untuk skala kecil adalah 7, namun dapat disesuaikan dengan ukuran *test chamber*. Untuk mencari perbandingan luas penampang besar dan kecil dari *contraction* dapat menggunakan rumus berikut;

$$A_d : A_K \dots\dots\dots(2.5, \text{Lit. 5})$$

Dengan:  $A_d$  = Luas daerah bagian depan *contraction*

$A_K$  = Luas daerah bagian belakang *contraction*

Untuk menentukan panjang dari *contraction* dapat menggunakan rumus berikut;

$$\frac{L_{\text{contraction}}}{y_0} \approx 1 \dots\dots\dots(2.6, \text{Lit. 5})$$



## 2. Diffuser

Menentukan panjang diffuser dengan cara menentukan sudut yang terbentuk dari perbedaan luas penampang namun bedara pada posisi garis tengah yang sama. Besar sudut yang terbentuk yang disarankan sebesar  $4^\circ$  agar panjang yang didapatkan ideal. Kemudian ratio dari diffuser berukuran  $\pm \frac{1}{2}$  ratio dari *contraction*. Dengan menggunakan rumus sebagai berikut;

$$Ab : Ak \dots\dots\dots(2.7, \text{Lit. 5})$$

Dengan:  $Ab =$  Luas daerah bagian depan *diffuser*

$Ak =$  Luas daerah bagian belakang *diffuser*

Menentukan panjang diffuser dengan cara menentukan sudut yang terbentuk dari perbedaan luas penampang namun bedara pada posisi garis tengah yang sama. Besar sudut yang terbentuk yang disarankan sebesar 4 derajat agar panjang yang didapatkan ideal.

## 3. Wing atau Airfoil

*Wing span* merupakan jarak dari *wing tip* ke *wing tip*. Sedangkan *wing chord* merupakan jarak dari *leading edge* ke *trailing edge*. Untuk mencari kedua ukuran tersebut, harus menentukan *aspect ratio* dari *wing*. *Aspect ratio* merupakan perbandingan antara *wing span* dan *wing chord*. Berikut hubungan antara *aspect ratio*, *wing span* dan *wing chord*.

Untuk perhitungan *wing area* dapat menggunakan rumus berikut;

$$\text{Wing area} = \text{wing span} \times \text{wing chord} \dots\dots\dots(2.8, \text{Lit. 1})$$

Untuk mencari *aileron chord* dapat digunakan rumus berikut;

$$\text{Aileron Chord} = 25\% \times \text{wing chord} \dots\dots\dots(2.9, \text{Lit. 1})$$

Untuk mencari *aileron span* dapat digunakan rumus berikut;

$$\text{Aileron chord} = 25\% \times \text{wing span} \dots\dots\dots(2.10, \text{Lit. 1})$$

### 5. *Wing Loading*

*Wing loading* adalah perbandingan antara berat pesawat dengan *wing area*. *Wing area* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut;

$$\text{Wing loading} = \frac{\text{weight}}{\text{wing area}} \dots\dots\dots(2.11, \text{Lit. 1})$$

## 2.7 Perawatan dan Perbaikan

Perawatan mencakup semua kegiatan yang fasilitas dan peralatan untuk bekerja dengan baik sehingga sistem dapat melakukan kerjanya sebagaimana yang diinginkan. Perawatan juga dapat disebut sebagai majamen asset menjaga kondisi peralatan atau komponen dalam kondisi yang optimal.

Perawatan adalah mencoba menghilangkan penyebab – penyebab suatu kerusakan yang ada pada peralatan serta menjaga alat tetap berfungsi sebagaimana mestinya. Perawatan juga merupakan suatu usaha yang dilakukan secara terus menerus dengan tujuan menjaga daya dari komponen-komponen yang terdapat disuatu alat sehingga dapat diantisipasi atau dicegah agar tidak terjadi kerusakan-kerusakan lainnya.

Perbaikan adalah kegiatan yang dilakukan dengan tujuan untuk mengatasi kerusakan-kerusakan yang terjadi dari pada alat dengan cara memperbaiki atau mengganti komponen yang mengalami kerusakan.

Perawatan dan perbaikan diperlukan karena dalam suatu proses perlunya bersekesinambung kerja untuk menjaga mutu dari suatu alat ataupun komponen. Dengan kata lain, perawatan dan perbaikan merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan untuk menjaga kondisi alat dan komponen-komponennya agar tetap dalam kondisi baik dan juga untuk memperpanjang usia pakai.

Tujuan dari perawatan dan perbaikan sebagai berikut;

1. Untuk memperpanjang waktu pengoprasian alat
2. Untuk menjaga kemampuan alat
3. Untuk menciptakan kondisi yang aman dalam mengoperasikan alat
4. Untuk mencegah kerusakan berlanjut pada alat dan komponen
5. Untuk menjaga efisiensi biaya penggantian komponen

### 2.7.1 Jenis Perawatan dan Perbaikan

Kegiatan perawatan dan perbaikan terbagi menjadi dua bagian yaitu;

#### 1. *Preventive Maintenance*

*Preventive Maintenance* adalah perawatan yang dilakukan dengan tujuan untuk mencegah kemungkinan timbulnya gangguan atau kerusakan pada alat. *Preventive Maintenance* dibagi menjadi tiga bagian yaitu ;

##### a. *Periodic Maintenance*

Pelaksanaan servis yang dilakukan setelah unit beroperasi dalam jumlah jam tertentu.

##### b. *Schedule Maintenance*

Perawatan yang dilakukan pada interval tertentu sesuai dengan standar *overhaul* masing masing komponen yang ada

##### c. *Conditioned Based Maintenance*

Jenis perawatan yang dilakukan berdasarkan kondisi unit tersebut.

#### 2. *Corrective Maintenance*

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

##### a. *Brakedown Maintenance*

Perawatan yang dilaksanakan setelah alat rusak dan tidak bisa digunakan

##### b. *Repair and Adjustment*

Perawatan yang sifatnya memperbaiki kerusakan yang belum parah atau belum mengalami *brakedown*