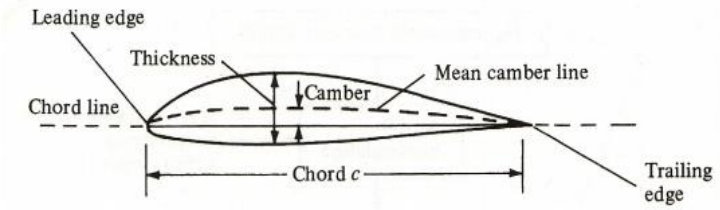
BAB II
DASAR TEORI

2.1 Pengenalan *Airfoil*

Airfoil atau *Aerofoil* adalah suatu bentuk geometri yang apabila ditempatkan di suatu aliran fluida akan memproduksi gaya angkat (*lift*) lebih besar dari gaya hambat (*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.

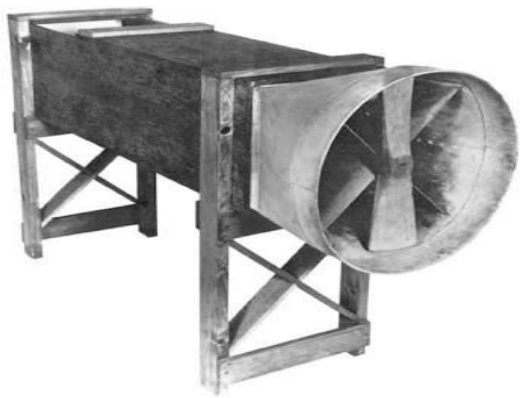
Namun selain faktor tersebut masih ada faktor lain yang menentukan besarnya kecepatan rata-rata aliran udara baik di permukaan atas maupun di permukaan bawah *airfoil*, yaitu: besarnya sudut serang dan besarnya kecepatan aliran udara. Untuk mengetahui kombinasi pengaruh kedua faktor di atas terhadap 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 seperti berikut :

a) *Leading Edge* adalah bagian yang paling depan dari sebuah *airfoil*
b) *Trailing Edge* adalah bagian yang paling belakang dari sebuah *airfoil*.
c) *Chamber line* adalah garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan permukaan bawah dari *airfoil mean chamber line*.
d) *Chord line* adalah garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*.
e) *Chord (c)* adalah jarak antara *leading edge* dengan *trailling edge*.
f) *Maksimum chamber* adalah jarak maksimum antara *mean chamber line* dan *chord line*. Posisi maksimum *chamber* diukur dari *leading edge* dalam bentuk persentase *chord*.
g) *Maksimum thickness* adalah jarak maksimum antara permukaan atas dan permukaan bawah *airfoil* yang juga diukur tegak lurus terhadap *chord line*.



2-1 *Airfoil Nomenklatur*

Wind Tunnel (terowongan angin) alat riset yang digunakan dalam penenilitian aerodinamik berbentuk tabung dimana udara dipaksa melaju dengan kecepatan yang diatur untuk mempelajari efek aliran udara yang bergerak melewati sekitar objek padat. Terowongan angin terdiri dari bagian bodi yang terbuka dengan benda yang diuji diletakkan dibagian tengah seksi uji (*test section*) dan sebuah sistem *fan* yang kuat untuk mengahasilkan udara yang melewati objek untuk kelancaran aliran udara. Benda uji diinstrumentasi dengan keseimbangan sensitif untuk mengukur kekuatan yang dihasilkan oleh aliran udara dan ilmu ukur yang diamati didalam terowongan angin biasanya dibandingkan ke hasil teoritis dalam rangka menguji ketelitian. Studi ini memerlukan dan mempertimbangkan Angka Reynolds, yaitu perbandingan forsainersial ke kekuatan merekat, dan Bilangan Mach, yaitu perbandingan kecepatan dari suatu arus atau obyek sehubungan dengan kelajuan bunyi di dalam medium.



(Sumber: http://kharisismail53.blogspot.co.id/)

2-2 *Wind Tunnel Open Circuit*

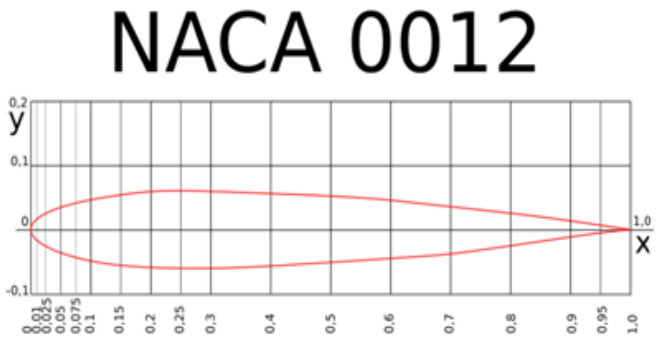
Seorang ilmuwan yang juga merupakan seorang anggota dewan berkebangsaan Britania Raya, Frances Wenham pada tahun 1871 berhasil menemukan, merancang, dan mengoperasikan terowongan angin. Penemuan terowongan angin tersebut mendorong para ilmuwan lain untuk mengembangkan penemuan terowongan angin yang telah ada sebelumnya sehingga pada tahun 1901,

Wright yang merupakan saudara laki-laki Frances Wenham berhasil menemukan bagaimana cara menggunakan terowongan angin secara sederhana. Sejak itu, terowongan angin telah digunakan dalam waktu yang sangat lama untuk memverifikasi teori aerodinamika dari memfasilitasi desain pesawat, khususnya untuk aplikasi di dunia penerbangan.

Salah satu syarat yang penting dalam saat melakukan percobaan-percobaan dalam pengukuran aliran udara pada instalasi terowongan angin, adalah mengetahui dengan cermat distribusi kecepatan udara dan arah aliran udara didalam seksi uji. Suatu aliran udara yang terbagi secara *uniform* dan arah aliran yang lurus serta aliran yang stasioner merupakan kondisi yang dikehendaki. Kondisi ini dapat diketahui dengan mengadakan pengukuran-pengukuran pada berbagai lokasi, dengan menggunakan perlengkapan-perlengkapan instalasi terowongan angin yang tersedia.

2.2 Klasifikasi Geometri *airfoil* NACA

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:



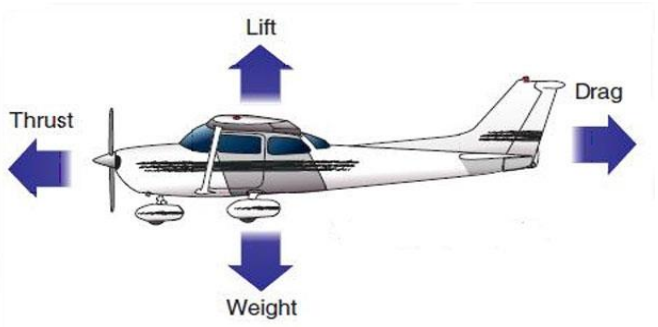
2-3 NACA 0012

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*. Contoh: *airfoil* NACA 2412 memiliki maksimum *chamber* 0,02 terletak pada 0,4c dari *leading edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12% *chord* atau 0,12c. *Airfoil* yang tidak memiliki kelengkungan, dimana *chamber line* dan *chord* berhimpit disebut *airfoil* simetrik. Contohnya adalah NACA 0015 yang merupakan

airfoil simetrik dengan ketebalan maksimum 0,15c. (Sumber : Petersiram. 2011)

2.3 Gaya-Gaya Pada Pesawat Terbang

Beberapa hal yang mempengaruhi kinerja dari pesawat dalam suatu penerbangan adalah gaya-gaya yang bekerja pada pesawat itu sendiri. Berikut ini adalah gaya-gaya yang bekerja pada pesawat terbang :



Gambar 2-4 Distribusi Gaya Yang Terjadi Pada Pesawat

1. *Thrust* adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin (power plant) / baling-baling. Gaya ini kebalikan dari gaya tahan (*drag*). Sebagai aturan umum, *thrust* beraksi paralel dengan sumbu longitudinal yang mendorong pesawat untuk menciptakan kecepatan aliran udara pada sayapnya.
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 kebelakang paralel dengan arah angin relatif.
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 gravitasi. *Weight* melawan *lift* (gaya angkat) dan beraksi secara vertical ke bawah sesuai dengan arah pusat bumi.
4. *Lift* (gaya angkat) adalah 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.

Sesuai dengan hukum Bernoulli, pesawat akan terbang ketika gaya angkat yang dihasilkan oleh sayap pesawat tersebut lebih besar dari gaya berat pesawat. *Lift* yang dihasilkan oleh saya pesawat itu tidak lepas dari kecepatan pesawat dilandasan, pesawat harus menghasilkan aliran fluida dengan kecepatan tertentu pada sayapnya, dimana kecepatan udara dibagian bawah sayap lebih kecil dari pada bagian atas pesawat sehingga akan gaya tekan dibawah sayap lebih besar dari pada di atas sayap dan terjadilah lift yang akan membuat pesawat menjadi terbang.

2.3.1 Definisi *Lift* Dan Persamaannya

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. Secara mudahnya, gaya angkat pesawat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_l = \frac{1}{2}.\rho.V^2.A.C_l \quad \text{(2.1)}$$

Dimana :

F_l = Gaya angkat (N)
C_l = Koefisien gaya lift
ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)
A = Luas permukaan benda (m^2)
V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

2.3.2 Definisi Koefisien *Lift* Dan Persamaannya

Koefisien *lift* adalah sebuah fungsi dari parameter tak berdimensi yang menunjukan besarnya gaya angkat yang bekerja pada suatu benda yang dialiri oleh fluida. Koefisien *lift* sangat dipengaruhi oleh bentuk benda, koefisien *lift* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2}.\rho.V^2.A} \quad \text{(2.2)}$$

Dimana:

C_L = Koefisien *Lift*
V = Kecepatan fluida (m/s)
A = Luas permukaan benda (m^2)
F_L = Gaya *lift* (N)
ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

Koefisien gaya angkat maksimum adalah harga Cl_{max} 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 Cl_{max} merupakan faktor penting dari kinerja *airfoil*, karena menentukan besarnya kecepatan *stall* pesawat. Kecepatan *stall* adalah kecepatan yang dicapai pada posisi Cl_{max}. Pada saat terbang *straight* dan level (terbang lurus dan datar), *lift* (L) sama dengan berat pesawat.

2.3.3 Definisi *Drag* Dan Persamaannya

Drag adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida (cairan atau gas) dimana gaya tersebut mempunyai arah yang sejajar dengan sumbu kecepatan aliran udara terhadap luas penampang dari suatu benda yang berlawanan dengan arah aliran tersebut. Gaya hambat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_d = \frac{1}{2}.\rho.V^2.A.C_d \quad \text{(2.3)}$$

Dimana:

C_d = Koefisien *Drag*
V = Kecepatan aliran fluida (m/s)
A = Luas permukaan benda (m^2)
F_d = Gaya *Drag* (N)
ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

2.3.4 Definisi Koefisien *Drag* Dan Persamaannya

Koefisien *drag* (Cd) adalah bilangan yang menunjukkan besar kecilnya tahanan fluida yang diterima oleh suatu benda. Harga koefisien *drag* yang kecil menunjukkan hambatan fluida yang diterima benda saat berjalan adalah kecil, dan begitu juga sebaliknya. Nilai Cd sangat bergantung pada bentuk dari suatu geometri. Koefisien *drag* didefinisikan sebagai:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2}.\rho.V^2.A} \quad \text{(2.4)}$$

Dimana:

C_d = Koefisien *Drag*
V = Kecepatan aliran fluida (m/s)
A = Luas permukaan benda (m^2)
F_d = Gaya *Drag* (N)
ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

2.4 Aliran Fluida

2.4.1 Viskositas

Viskositas suatu fluida adalah suatu sifat yang sangat penting dalam penganalisaan tingkah laku fluida dan gerakan fluida dekat batas padat. Viskositas merupakan hasil dari gaya-gaya antara molekul yang timbul pada saat lapisan-lapisan fluida berusaha menggeser satu dengan lainnya.

Dimensi viskositas ditentukan dari hukum viskositas Newton penyelesaiannya untuk viskositas μ, menurut persamaan hukm viskositas newton yaitu:

$\mu = \frac{\tau}{du/dy}$ ..... (2.5)

Dimana :

μ = Viscositas ($N.s/m^2$)

τ = Tegangan geser (N/m^2)

du/dy = Perubahan kecepatan dibagi dengan jarak (rad/s)

(Sumber: Viktor L Streeter, 1999, hal.4)

Temperature (°C)	Viskositas minyak jarak (poise)	Viskositas air (centipoise)	Viskositas udara (micropoise)
0	53	1,792	171
20	9,86	1,005	181
40	2,31	0,656	190
60	0,80	0,469	200
80	0,30	0,357	209
100	0,17	0,284	218

Table 2.1 Harga Viskositas
(Sumber: Sears. Zemansky, 1962, Hal. 343)

2.4.2 Massa Jenis

Massa jenis suatu fluida didefinasikan sebagai massanya per volume satuan

$\rho = \frac{m}{V}$ ..... (2.6)

Dimana:

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

M = Massa fluida (kg)

V = Volume fluida (m^3)

Nama Zat	Massa jenis	
	Kg/m^3	gr/cm^3
Udara	1,2	0,0012
Alkohol	800	0,8
Air	1.000	1
Air raksa	13.600	13,6

Table 2.2 Harga Massa Jenis

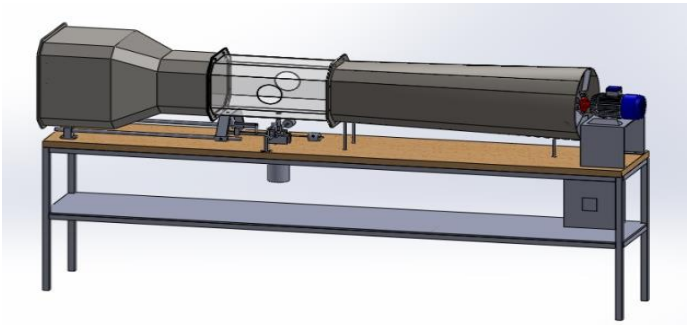
2.5 Tipe *Wind Tunnel*

Berdasarkan dari segi jalur rangkaian untuk *wind tunnel* memiliki beberapa tipe diantaranya adalah :

1. Terowongan rangkaian terbuka (*Open Circuit Wind Tunnel*)
2. Terowongan rangkaian tertutup (*Close Circuit Wind Tunnel*)

2.5.1 *Wind Tunnel Open Circuit*

Pada terowongan angin tipe ini udara mengikuti jalur lurus dan jalur masuk melalui rumah *fan*, kontraksi ke seksi uji lalu dilanjutkan ke *difusser* dan diteruskan ke saluran keluar udara terbuka.



Gambar 2.5 *Wind Tunnel Open Circuit*

Adapun dari tipe *open circuit wind tunnel* ini memiliki keuntungan diantaranya adalah :

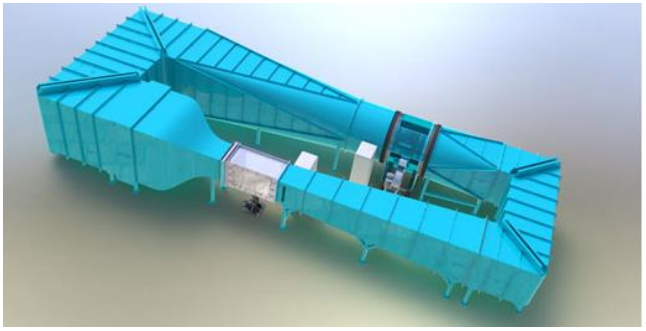
1. Konstruksi sederhana
2. Biaya rancang bangun rendah

Sedangkan kerugian dari *wind tunnel tipe open circuit* ini diantaranya adalah :

Jika diletakkan didalam ruangan, berdasarkan pada ukuran terowongan terhadap ukuran ruang bisa jadi dibutuhkan penyaringan tambahan pada inlet untuk mendapatkan aliran agar bertambah tinggi. Dengan cara yang sama *inlet/outlet* terbuka ke atmosfer, yang mana angin dan cuaca dingin dapat mempengaruhi operasi kerja *wind tunnel tipe open circuit*, secara umum berisik.

2.5.2 *Wind Tunnel Close Circuit*

Wind tunnel tipe *close circuit* mempunyai tipe rangkaian jalur yang kontinyu untuk aliran udaranya. Sebagian tipe ini adalah jalur tunggal *(single return*).



Gambar 2.6 *Wind Tunnel Close Circuit*

Adapun kelebihan dari *wind tunnel* tipe *close circuit* ini diantaranya adalah sebagai berikut :

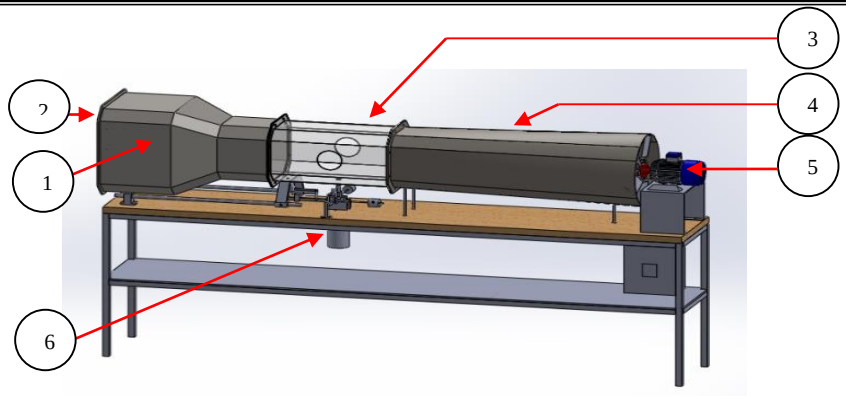
1. Dengan kegunaan *corner turning vanes*, arah dari aliran udara dapat dengan mudah dikontrol.
2. Tidak terlalu berisik

Sedangkan kekurangan dari tipe *closed circuit wind tunnel* ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Konstruksi rancang bangun lebih kompleks
2. Biaya awal yang besar akibat penambahan saluran kembali *returns ducts* dan *corner vanes*.
3. Untuk pengujian visualisasi aliran dengan asap harus ada saluran untuk pembuangan.

2.6 *Wind Tunnel open circuit*

Yaitu rangkain terbuka dengan bentuk tabung-tabung panjang dengan kualitas udara dengan aliran didalam *test section* dan kinerja secara keseluruhan. Menghisap udara melalui pipa berdiameter kecil untuk memproleh keseragaman aliran dengan kecepatan udara yang dihisap *exhaust fan* 350 rpm sampai dengan 3600 rpm kecepatan aliran udara yang dapat dicapai, keseragaman aliran dan tingkat turbulensi yang rendah. Dengan kata lain tujuan desain *wind tunnel open circuit* adalah mendapatkan aliran udara dalam test section yang dapat diatur sehingga kinerja dan kualitas aliran dapat dicapai.



Gambar 2-7 Rangkaian *Wind Tunnel*

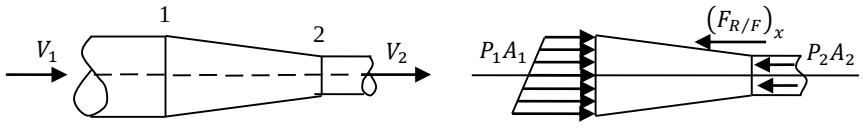
Ada 6 komponen - komponen bagian utama yang digunakan dalam pembuatan terowongan angin terdiri dari:

1. *Honeycomb*
2. *Contraction*
3. *Test section*
4. *Difusser*
5. *Motor dan Fan*
6. *Force Balance*

2.7 Rangkaian Terowongan Angin

2.7.1 Gaya Tekan Pada Tabung

Contraction atau *reducer* mengakselarasi aliran melalui pipa-pipa kecil *honeycomb* menuju *test section*, dan mereduksi keseragaman aliran menuju *test section*. Aliran horisontal ke kanan melalui sebuah *reducer* (pengurang) pada diagram benda-bebas (free body diagram) dari gaya-gaya yang bekerja pada massa fluida yang terisi di dalam *reducer* terlihat pada massa fluida ini untuk menyelidiki gaya-gaya yang bekerja pada arah x. Gaya-gaya P_1A_1 dan P_2A_2 mewakili gaya-gaya tekan yang dikerjakan oleh fluida yang berlokasi sekitar hulu dan hilir masa fluida yang ditinjau. Gaya $(F_{R/F})_x$, mewakili gaya yang dikerjakan oleh *reducer* terhadap fluida pada arah x. Dengan mengesampingkan gaya-gaya pada dinding *reducer*, gaya $(F_{R/F})_x$, adalah pengaruh total gaya-gaya tekan normal yang dikerjakan pada fluida oleh dinding *reducer*.



Gambar 2-8 Gaya Pada Tabung

lntensitas tekanan pada dinding akan berkurang di mana diameter berkurang dikarenakan pertambahan pada *head* kecepatan. Suatu diagram tekanan dengan

menggunakan persamaan dan mengasumsikan fluida ideal dengan $(F_{R/F})_x$ pada arah seperti Gambar 2.8, didapat Persamaan 2.7 Fluida ideal

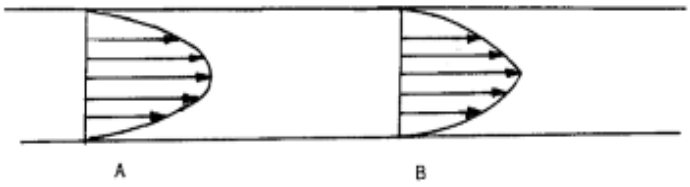
$\Sigma F_x = P_1A_1 - P_2A_2 - (F_{R/F})_x$ ..... (2.7)
$= \rho Q(V_2 - V_1)$ ..... (2.8)

Dimana:
ΣF_x = Gaya sumbu x (N)
P_1 = Tekanan penampang masuk (Pa)
A_1 = Luas penampang masuk (m^2)
P_2 = Tekanan penampang keluar (Pa)
A_2 = Luas penampang keluar (m^2)
$(F_{R/F})_x$ = Gaya gaya tekan normal
ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)
Q = Debit udara (m^3/sec)
V_2 = Kecepatan penampang keluar (m/s)
V_1 = Kecepatan penampang masuk (m/s)

(Sumber: Ir. M Orianto BSE 1984, hal 58)

2.7.2 *Honeycomb*

Honeycomb merupakan tempat masuknya udara melalui pipa-pipa kecil yang berdiameter tetap untuk mengetahui keseragaman aliran pertama kali masuk dalam *open circuit wind tunnel type section* (hisap). Bagian ini merupakan ruang penyesuaian aliran agar aliran udara di *test section* diperoleh keseragaman aliran dan juga level turbulensi yang rendah. Dua macam aliran: laminer dan turbulen, pertama kali diperlihatkan oleh Osborn Reynold pada tahun 1883.

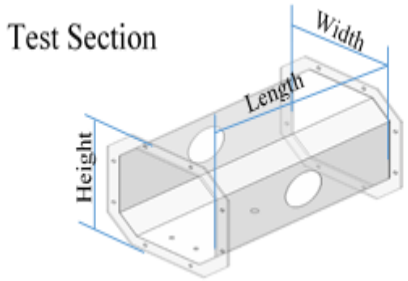


2-9 Aliran Steady Uniform

Profil penampang kecepatan A sama dengan B pada aliran steady uniform. Aliran yang benar steady hanya bisa didapatkan pada aliran laminer. Tetapi bila fluktuasi-fluktuasi tersebut sama pada dua sisi yang mempunyai suatu harga rata-rata yang konstan, maka aliran tersebut dinamakan aliran steady atau lebih persisnya dinamakan aliran *Mean Steady Flow*.

2.7.3 *Test section*

Test Section merupakan tempat dimana model yang akan diuji ditempatkan ditengah - tengah *test section*. Untuk memperoleh keseragaman aliran yang dibutuhkan saat pengujian untuk memperoleh gaya angkat dan gaya geser yang diinginkan. Ukuran dimensi dan kecepatan didalam (*Test section)* ditentukan oleh ukuran model yang akan digunakan sebagai tempat pengujian.



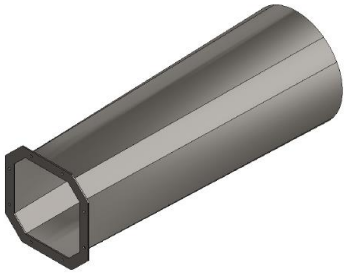
2-10 *Test Section*

Ukuran model (*frontal area*) 10% dari ukuran (*frontal area*) Test section, agar diperoleh aliran yang bebas dari pengaruh dinding pembatas dan *wake* di sudut-sudut *test section*. Penampang *test section* umumnya berbentuk persegi 8 yang direkomendasikan untuk aplikasi dengan model otomotif, arsitektur, teknik sipil, aeronautika, aplikasi industry.

(Sumber : Barlow et al. 1989)

2.7.4 *Diffuser*

Fungsi utama *difusser* untuk menjaga aliran agar tetap menyatu, jika terjadi *detachment flow* (pemisahan) seperti dalam kasus pelepasan pulse kecepatan udara diteruskan kedepan tempat uji yang mengakibatkan keseragaman aliran didalam *test section* pada kecepatan udara. *Diffuser* menghubungkan bagian uji dengan *fan* untuk menghindari *detachment flow* direkomendasikan sudut buka *difusser* tidak melebihi 5^{o}.



2-11 *Diffuser*

2.7.5 Motor Dan *Axial Fan*

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetik yang merubah energi listrik menjadi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan sangat berguna untuk mekanisme *wind tunnel*. Pada peneltian ini motor listrik yang digunakan adalah motor listrik jenis AC. Motor listrik AC adalah sebuah motor listrik yang digerakan oleh *alternating current* (AC) atau arus bolak balik.

Motor AC terdiri dari 2 komponen utama yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian yang diam dan letaknya beradah diluar. Stator mempunyai koil yang dialiri oleh arus listrik bolak balik dan nantinya akan menghasilkan medan maknet yang berputar. Rotor adalah bagian yang berputar dan letaknya berada didalam setator. Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros. Dimana torsi tersebut dihasilkan oleh medan magnet yang berputar.

Kipas (*fan*) adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menghasilkan aliran pada fluida gas seperti udara. Dimana kipas menghasilkan aliran fluida dengan debit aliran yang besar pada tekanan rendah, kipas banyak diaplikasikan seperti untuk kenyamanan ruangan, sistem pendingin pada kendaraan atau sistem permesinan, ventilasi, penyedot debu. Namun dalam hal ini *fan* juga dapat digunakan sebagai alat bantu untuk menghasilkan aliran udara untuk pengujian aerodinamis pada *wind tunnel*.

Fungsi utama penggerak daya adalah menjaga kecepatan aliran udara dalam *wind tunnel* tetap konstan. Volume udara dapat dihitung dengan hasil kali antara kecepatan pada *test section* yang diinginkan, V dengan luas penampang *test section*. Berikut adalah perhitungan yang akan digunakan pada penelitian ini yang akan mempengaruhi dari kapasitas mesin ini, diantaranya:

2.7.5.1 Debit Aliran

Jika debit Q yang juga disebut laju aliran volumetrik, atau aliran didefinisikan sebagai:

$Q = AV$ ..... (2.9)

Dimana:

Q = Debit (m^3/sec)

A = Luas penampang (m^2)

V =Kecepatan udara (m/s)

Untuk aliran stedi (ajeg) tak mampu mampat persamaan 2.9: persamaan Kontuinitas

$Q = A_1V_1 = A_2V_2$ ..... (2.10)

Dimana:

Q = Debit (m^3/sec)

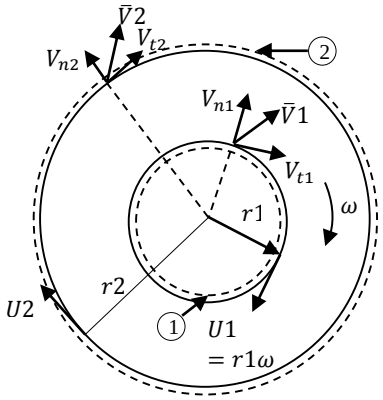
A_1 = Luas penampang masuk (m^2)

A_2 = Luas penampang keluar (m^2)

V_1 = Kecepatan penampang masuk (m/s)
V_1 = Kecepatan penampang keluar (m/s)

2.7.5.2 Massa Aliran Didalam Tabung

Untuk menghitung massa aliran didalam tabung panjang *wind tunnel* maka didapat kecepatan motor yang berkerja dari gaya yang arahnya tegak lurus dengan jari-jari lingkaran. Ketika suatu benda bergerak absolut melingkar, maka benda akan mengalami sebuah gaya tangensial.



Gambar 2-12 Volume Control Terbatas dan Komponen Kecepatan Absolut Untuk Analisis Momentum Sudut

a. Massa per satuan waktu

Untuk menentukan massa per satuan waktu di setiap bagian-bagian tabung *wind tunnel Open Circuit*

$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \rho V A = \dot{m} =$ Constan…….. (2.11)

Dimana:
$\dot{m}$ = Massa per satuan waktu(kg/s)
ρ = Massa jenis (kg/m^3)
V = Kecepatan (m/s)
A = Luas (m^2)

(Sumber: Robert. Alan, 1992 hal: 625)

b. Kecepatan sudut *axial fan*

Kecepatan sudut ω didefinisikan sebagai perbandingan perubahan sudut terhadap selang waktu

$\omega = \frac{2\pi n}{60}$……..……..... (2.12)

Dimana :
ω = Kecepatan sudut (*rad/detik*)
n = putaran motor (Rpm)
60 = waktu (detik)
T = waktu (*detik*)

c. Kecepatan blade (v)

$v = r.\omega$ .... (2.13)

Dimana :
v = Kecepatan tangensial (m/detik)
r = jari-jari (m)
ω = Kecepatan sudut (rad/detik)

(Sumber: Sears. Zeamansky, 1962 hal: 213-221)

d. Torsi Poros

$T_{shaft} = (r2\, V_{t2} - r1 V_{t1})\dot{m}$ .... (2.14)

Dimana:
T_{shaft} = Torsi poros (Nm)
r = Jari- jari *blade* (m)
V_{t1} = kecepatan *blade* luar (m/s)
V_{t1} = kecepatan *blade* dalam (m/s)
$\dot{m}$ = Massa per satuan waktu (kg/s)

(Sumber: Robert. Alan, 1992 hal: 516)

e. Daya Yang Dibutuhkan Untuk Memutar Axial Fan

Momen torsi sering harus dihitung dari daya yang ditransmisikan dengan putaran poros tertentu

$Mt = 63000\frac{N}{n}(lb\ in)$ .... (2.15)

$Mt = 71620\frac{N}{n}(kg\ cm)$ .... (2.16)

Dimana:
N = Daya (HP)
n = Putaran (RPM)

Kalau satuan yang dipakai adalah SI rumus yang dipakai adalah:

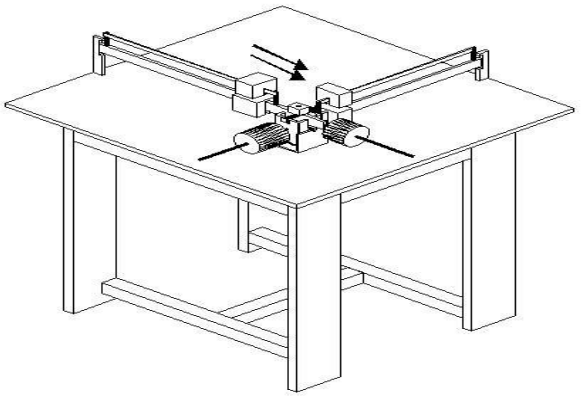
$Mt = \frac{N}{\omega}$(Nm) .... (2.17)

Sehingga,
$\mathrm{N} = \mathrm{Mt}\,.\,\omega$ .... (2.18)

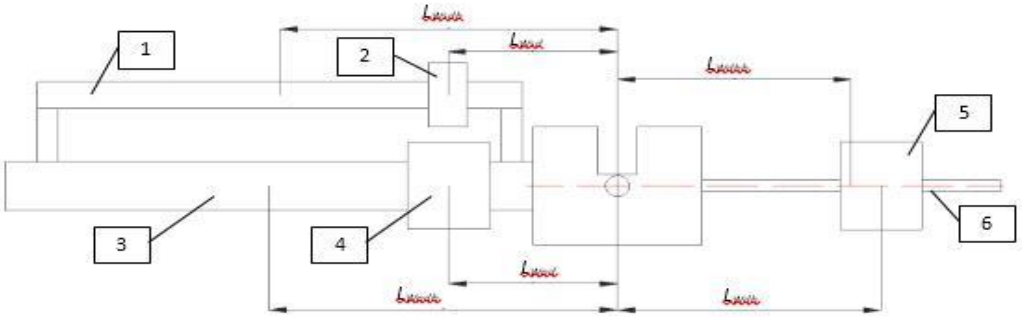
Dimana:
N = Daya (watt)
Mt = Momen torsi (Nm)
ω = Kecepatan sudut (rad/detik)
(Sumber: A, Zainun. 1999, Hal.21)

2.7.6 *Drag Lift Force Balance*

Dari model yang sudah ada sebelumnya, *lift and drag balance* ini terdiri dari sepasang batang yang ditumpu dengan sepasang *knife edge* pada sumbu silang yang saling tegak lurus, dengan arah paralel dan normal garis sumbu *wind tunnel*. Untuk kestabilan *balance arm* dari gaya aerodinamis yang terjadi, *lift and drag balance* juga dihubungkan dengan suatu pemberat yang diletakkan di dalam bejana yang diletakkan dibawah *lift* and *drag balance*. Bejana tersebut diisi dengan oli pelumas dengan viskositas (SAE 20W-50) yang digunakan untuk meredam dan menstabilkan ketika benda uji mulai dialiri oleh udara dari wind tunnel. Gambar 2.8 *Lift and Drag Balance* (Hari, 2006) Keseimbangan gaya dan momen yang terjadi pada *drag and lift balance* dapat digambarkan

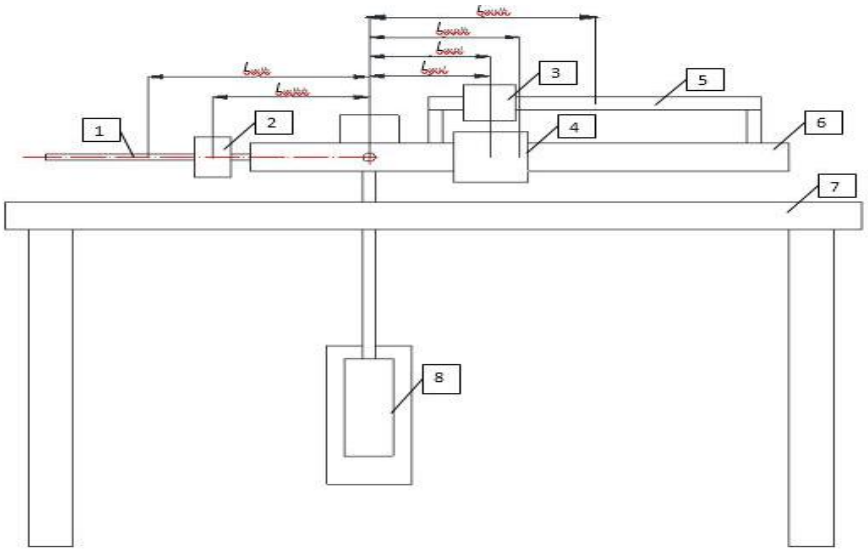


Gambar 2-13 Bagian *Lift and Drag Balance*



2-13-1 Bagian *Drag Balance*

Keterangan :
1. Batang *secondary drag balance*
2. Pemberat *secondary drag balance*
3. Batang *primary drag balance*
4. Pemberat *primary drag balance*
5. Pemberat *counter drag balance*
6. Batang *counter drag balance*



2-13-2 Bagian *Lift Balance*

Keterangan :
1. Batang *counter lift balance*
2. Pemberat *counter lift balance*

3. Pemberat *secondary lift balance*
4. Pemberat *primary lift balance*
5. Batang *secondary lift balance*
6. Batang *primary lift balance*
7. Meja
8. Pendulum

Spesifikasi dan skema dari *lift and drag balance* seperti terlihat pada table 2.3.

(Sumber: H, M, Tsabit. Surabaya, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017)

1	Dimensi	(460x495x155) mm^3
2	Satuan ukur	N
3	Gaya $lift_{min}$ yang terukur	0 N
4	Gaya $lift_{max}$ yang terukur	11 N
5	Gaya $drag_{min}$ yang terukur	0 N
6	Gaya $drag_{max}$ yang terukur	8,9 N
7	Viskositas oli penstabil	SAE 20W-50
8	Volume oli penstabil	1 liter

Tabel 2.3 Spesifikasi *Lift and Drag Balance*