

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 WIND TUNNEL (Terowongan Angin)

Untuk melakukan pengujian aerodinamik terhadap sebuah model, terowongan angin digunakan. Model berada di bagian uji terowongan angin. Dalam simulasi terowongan angin, model dianggap diam sedangkan angin bergerak dengan kecepatan tertentu. Namun, dalam keadaan nyata, model dianggap bergerak dan angin relatif diam.

Selama sekian lama, terowongan angin telah digunakan untuk memvalidasi teori aerodinamis dari memfasilitasi desain pesawat, khususnya untuk aplikasi di bidang penerbangan, sejak Frank H Wenham (1824–1908), anggota Aeronautical Society Great Britain, pertama kali membangun terowongan angin. Sekarang, penelitian aerodinamis telah berkembang ke bidang lain seperti industri otomotif, arsitektur, teknik sipil, lingkungan, dan sebagainya. Terowongan angin atau terowongan merupakan salah satu alat percobaan yang cukup penting dalam mempelajari ilmu aerodinamika, namun sering perkembangan teknologi maka terdapat juga metode lain yang digunakan dalam mempelajari ilmu aerodinamika, yaitu dengan penggunaan simulasi terhadap gaya-gaya aerodinamika menggunakan bantuan computer, metode ini lebih dikenal sebagai *Computational*

fluid dynamics (CFD).

2.2 Klasifikasi Wind Tunnel

Jenis terowongan angin dikategorikan berdasarkan kecepatan udara yang dihasilkan dari terowongan udara itu sendiri. Menurut kategori ini, ada empat jenis wind tunnel. Untuk operasi bilangan Mach yang sangat rendah, subsonic wind tunnel digunakan. Kecepatan di seksi uji (seksi uji) sampai dengan ($M= 0,3$), sedangkan untuk kecepatan subsonic bilangan Mach tidak lebih dari 1.

Tunnel terbuka atau tertutup adalah jenisnya. Sistem penggeraknya terdiri dari kipas aksial yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan tekanan dinamik untuk mengatasi kerugian viskositas. Karena high subsonic wind tunnel ($0,4$ menghasilkan kecepatan supersonic), desain convergent divergent nozzle yang tepat digunakan. Wind tunnel hypersonic dirancang untuk menghasilkan aliran dengan kecepatan hypersonic. Tipe desain Wind Tunnel seperti gambar 2.1.



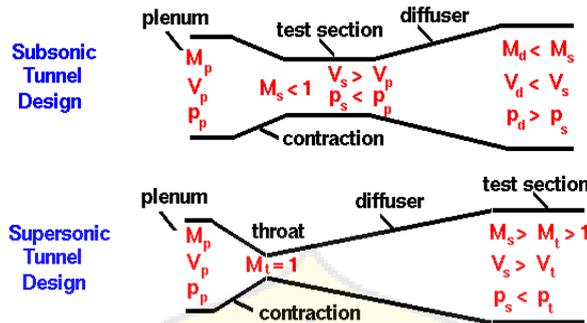
Wind Tunnel Design

Glenn
Research
Center

Increase in Area :

- For subsonic flow ($M < 1$)
velocity decreases & pressure increases
- For supersonic flow ($M > 1$)
velocity increases & pressure decreases

M = Mach
V = velocity
p = pressure
A = area



Gambar 2. 1 Type desain Wind Tunnel (NASA)

$$Ma = \frac{V}{C} \dots \dots \dots (1.1)$$

V = kecepatan fluida yang mengalir (m/s)

C = Kecepatan Suara (346,3 m/s)

Dalam hal-hal di mana kemampu-mampatan sangat penting, jumlah mach merupakan kelompok tak berdimensi yang signifikan. Apabila bilangan mach relatifnya rendah (kurang dari 0,3), gaya inersia yang disebabkan oleh gerakan fluida tidak cukup besar untuk mengubah kecepatan fluida, dan kemampu-mampatan fluida mungkin terabaikan. Dalam hal fluida mampu-mampat, parameter bilangan mach lebih sering digunakan, terutama dalam bidang gas dinamika dan aerodinamika.

Banyak wind tunnel yang telah ada dengan model yang berbeda, seperti yang dibuat oleh American Institute of Aeronautics and Astronautics, McDonnell Aircraft Company, NASA, Boeing, dan Airbus, namun tujuan mereka tetap sama. Oleh karena itu, wind tunnel termasuk dalam kategori berikut.

1. Didasarkan pada jalur rangkaiannya
2. Berdasarkan cara terowongannya dipasang

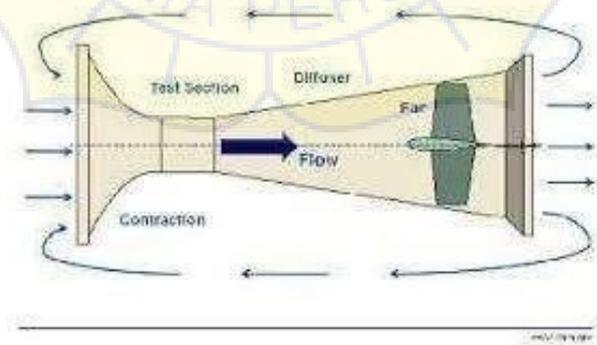
2.2.1 Berdasarkan jalur rangkaian

Wind tunnel dibagi dalam dua rangkaian berdasarkan jalurnya.

a) Rangkaian terbuka

Wind tunnel tipe terbuka memiliki udara mengalir lurus dari sisi masuk ke sisi luar dan udara yang masuk akan dibuang keluar. Tipe terbuka memiliki beberapa keuntungan daripada wind tunnel tipe tertutup, seperti biaya konstruksi yang lebih rendah dan bebas dari kotoran yang masuk dari sisi masuk karena tipe terbuka tidak menampung kotoran. Sedangkan

Kekurangannya adalah operasinya sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Jika pengujian dilakukan di luar ruangan dengan cuaca hujan, pengoperasian wind tunnel dihentikan karena sisi masuk dan keluaranya terbuka.. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2.



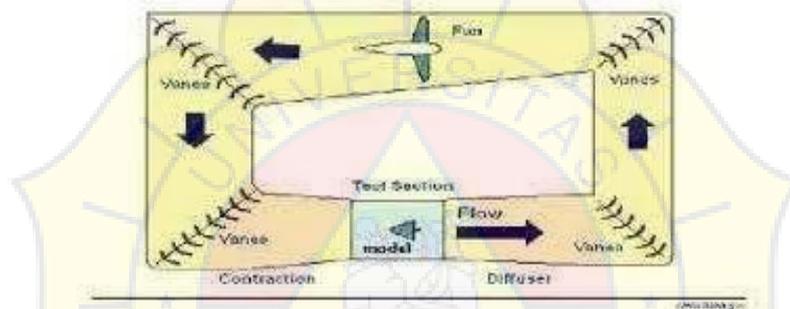
Gambar 2. 2 Wind Tunnel tipe terbuka (NASA)

b) Tipe rangkaian tertutup

Wind tunnel tipe tertutup memiliki aliran udara yang terus mengalir, yang berarti udara yang masuk terus mengalir selama operasi dan tidak terbang keluar lingkungan. Tipe rangkaian tertutup memiliki banyak keuntungan, seperti bahwa pengoperasiannya tidak terpengaruh oleh cuaca karena tiap sisinya tertutup, tetapi kekurangannya adalah biaya pembangunan yang lebih tinggi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.3.

2.2.2 Berdasarkan instalasi terowongan

Instalasi terowongan dalam wind tunnel dibagi menjadi tiga,



Gambar 2. 3 Wind Tunnel tertutup (NASA)

yaitu wind tunnel dengan instalasi terowongan di belakang fan, wind tunnel dengan instalasi terowongan didepan fan, dan wind tunnel dengan instalasi terowongan berkesinambungan.

2.2.3 Bagian-Bagian Wind Tunnel

Dalam kebanyakan tunnel angin terdiri dari honeycomb, kontraksi, seksi uji, difuser, dan fan. Fungsi honeycomb adalah untuk mengembangkan atau menghasilkan aliran udara yang halus pada seksi uji sehingga aliran udaranya lebih linier. Ini adalah alasan mengapa honeycomb ini harus digunakan. Jarang sekali wind tunnel dengan rasio kontraksi tinggi memerlukan honeycomb. Bahkan dalam situasi tertentu, honeycomb gagal menurunkan

turbulensi.

Kontraksi cone mengambil udara kecepatan rendah bervolume besar dan mengurangnya menjadi udara kecepatan tinggi bervolume kecil.

Ketika ukuran contraction cone mengecil, kecepatan udara meningkat. Model sayap, pesawat, atau objek lain yang ingin diuji ditempatkan di bagian uji. saat aliran udara dengan kecepatan yang dipilih Drag adalah gaya pada sayap searah dengan aliran udara, sedangkan lift adalah gaya pada sayap yang berlawanan dengan gaya gravitasi.

Disebabkan bentuk diffuser, laju udara yang keluar dari seksi uji sebelum menuju keluaran atau dalam tunnel closed-circuit untuk sirkulasi kembali diperlambat. karakteristik aliran fluida

fluida yang mengalir dalam suatu ruang yang dibatasi dinding yang padat akan memiliki karakteristik aliran, yaitu aliran laminar atau aliran turbulen. Adapun aliran tersebut dapat dimodelkan seperti gambar 2.4. (a,b).

2.3.1. Aliran laminer

Aliran liminer didefinisikan sebagai fluida yang bergerak

2.3.2. Aliran turbulen

secara halus dan lancar dengan kecepatan relatif rendah. Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas



berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya geraka relatif antara lapisan. Aliran laminer memiliki bilangan Reynolds yang kurang dari 2300. Bentuk aliran laminer dapat ditampilkan seperti gambar 2.4.(a).

aliran turbulen merupakan aliran dimana pergerakan aliran dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu. Aliran turbulen memiliki bilangan Reynolds lebih dari 4000. Dalam hal ini turbulensi yang terjadi dapat membangkitkan tegangan geser yang merata di seluruh aliran fluida. Bentuk aliran turbulen dapat ditampilkan seperti gambar 2.4.(b).

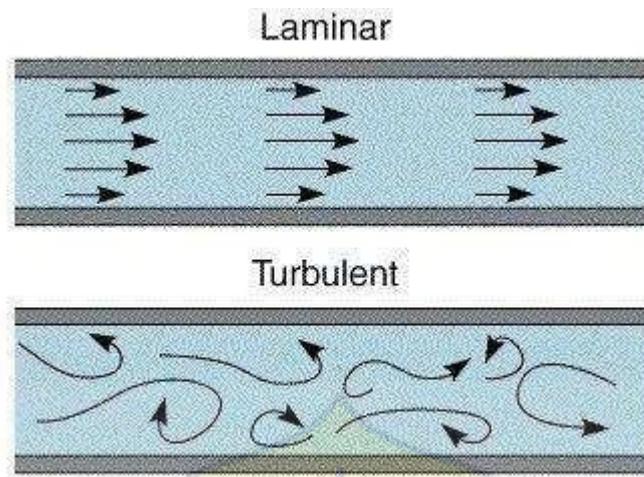
bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang akan menentukan jenis dari aliran berdasarkan kecepatan aliran yang melalui diameter tertentu dibandingkan dengan kekentalannya, sehingga dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : V = kecepatan fluida yang mengalir (m/s)

D = diameter dalam (m)

ν = kekentalan kinematic udara (1,56 l



Gambar 2. 4 (a,b) bentuk aliran laminar dan turbulen (fluidmechanics)

2.3.3. Aliran transisi

Aliran transisi adalah aliran yang bergerak dari aliran laminar ke aliran turbulen. Ketika kecepatan aliran meningkat atau viskositasnya berkurang (mungkin karena temperatur meningkat), gangguan akan terus terjadi dan semakin kuat. Pada akhirnya, keadaan peralihan akan terjadi. Keadaan peralihan ini bergantung pada geometri aliran, viskositas fluida, dan nilai Reynolds antara 2300 dan 4000.

2.3 Manometer

Manometer adalah alat ilmiah yang digunakan untuk mengukur tekanan gas relatif terhadap tekanan atmosfer. Manometers yang terbuka mengukur tekanan gas. Manometer minyak atau merkuri menghitung tekanan gas dengan mengukur ketinggian kolom cairan merkuri atau

minyak yang dibantu oleh sampel gas.

Cara kerjanya adalah seperti berikut: kolom merkuri (atau minyak) terbuka di salah satu ujung atmosfer dan terkena tekanan yang diukur di ujung lainnya.

Sebelum digunakan, kolom telah dikalibrasi untuk memastikan bahwa tanda yang menunjukkan ketinggian sesuai dengan tekanan yang sudah diketahui. Tekanan udara mendorong kolom ke arah uap tertentu jika tekanan pada sisi fluida lebih besar dari tekanan atmosfer. Sebaliknya, jika tekanan uap lebih besar dari tekanan atmosfer, kolom didorong ke arah sisi terbuka ke udara...Salah satu contoh alat ukur anemometer dapat dilihat pada gambar 2.5

Gambar 2. 5 Manometer

2.4 Aerodinamika

Aerodinamika adalah bagian dari desain bodi kendaraan. Aerodinamika adalah studi tentang gaya yang dihasilkan oleh udara ketika objek bergerak melalui udara karena gerakan relatif antara udara dan permukaan bodi. Definisi aerodinamika adalah dinamika gas

gas, terutama interaksi antara objek dan udara sekitarnya Lingkungan aerodinamis terbagi menjadi dua kategori berdasarkan arus: aerodinamis eksternal dan aerodinamis internal. Aerodinamis eksternal adalah aliran di sekitar benda padat dalam berbagai bentuk, seperti aliran udara melalui mesin jet. Perilaku perubahan aliran udara bergantung pada rasio aliran dengan kecepatan suara. Berdasarkan angka Mach, masalah aerodinamik diklasifikasikan sebagai berikut:

subsonic (kecepatan sama dengan kecepatan suara), supersonic (kecepatan lebih besar dari kecepatan suara), dan hypersonic (kecepatan aliran sangat jauh lebih besar dari kecepatan suara). Aerodinamis memiliki banyak aplikasi terutama dalam teknik penerbangan, seperti dalam desain mobil, memprediksi gaya kapal, dan dalam teknik sipil, seperti dalam desain jembatan dan bangunan lainnya. Aerodinamika pada mobil

Dalam rangka meningkatkan aerodinamis pada mobil terlebih dahulu harus mengetahui bagaimana aliran udara melewati mobil, kalau dibayangkan sebuah mobil bergerak melalui udara. Seperti diketahui diperlukan energi untuk membuat mobil melaju, dan energi ini digunakan untuk melawan gaya-gaya aerodinamis yang terjadi pada mobil (gambar 2.6).



Gambar 2. 6 aerodinamika pada mobil (apritos)

penyebab utama dari timbulnya gaya-gaya aerodinamis pada kendaraan adalah :

- Adanya distribusi tekanan pada permukaan mobil kendaraan yang akan berkerja pada arah normal terhadap permukaan kendaraan.
- Adanya distribusi tegangan geser pada permukaan bodi kendaraan yang akan bekerja pada arah tangensial terhadap permukaan kendaraan

Apabila distribusi tekanan dan tegangan tersebut diintegrasikan maka akan dihasilkan gaya-gaya aerodinamis, yaitu :

1. Gaya angkat aerodinamis (Lift Force)
2. Gaya hambat aerodinamis (Drag Force)
3. Gaya samping aerodinamis (Side Force)
4. Gaya akibat pusaran udara (Turbulance Force)

1.6.1 Gaya hambat aerodinamis (Drag Force)

Gaya kekuatan adalah gaya kebelakang yang disebabkan oleh gangguan aliran udara pada bodi kendaraan dan parallel dengan arah angin. Drag juga disebut sebagai

studi aerodinamis aliran udara yang ada di sekitar dan melalui kendaraan, terutama saat berada dalam posisi bergerak. Dengan kata lain, drag adalah jumlah gaya eksternal dalam aliran fluida yang berlawanan dengan arah gerak objek. Ini terjadi karena aliran udara turbulen di sekitar objek yang berlawanan dengan gerak maju objek melalui gas atau cairan.

Besar koefisien hambat, juga dikenal sebagai drag coefficient, adalah koefisien hambatan aerodinamik yang dipengaruhi oleh bentuk dan kehalusan permukaan kendaraan. Koefisien hambat kendaraan adalah beban aero terhadap gerakan maju. Koefisien hambat berkorelasi positif dengan hambatan aerodinamik. Bentuk bodi kendaraan dengan nilai c_d yang rendah memiliki bentuk stramline yang mengikuti arah aliran udara yang melewati permukaannya. Nilai c_d dapat dihitung dengan melakukan percobaan terhadap model kendaraan di dalam terowongan angin, alat pengujian angin. Secara matematis gaya hambat dapat dituliskan sebagai berikut. Bentuk frontal area pada benda seperti gambar 2.7.

$$f_{drag} = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \dots \dots \dots (2.3)$$

D = Hambatan udara (N)

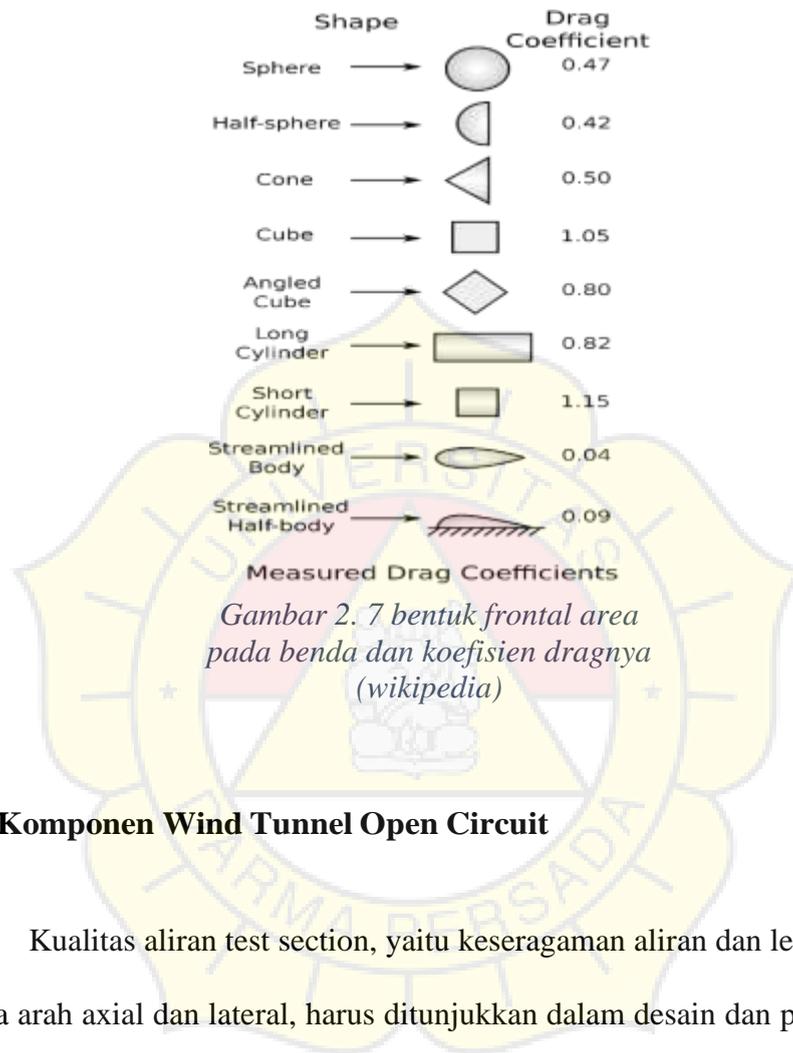
C_d = koefisien hambatan udara

ρ = massa jenis udara ($1,18Kg/m^3$)

V = Kecepatan (m/s)

A = luas penampang tegak lurus dengan aliran udara

(m^2)



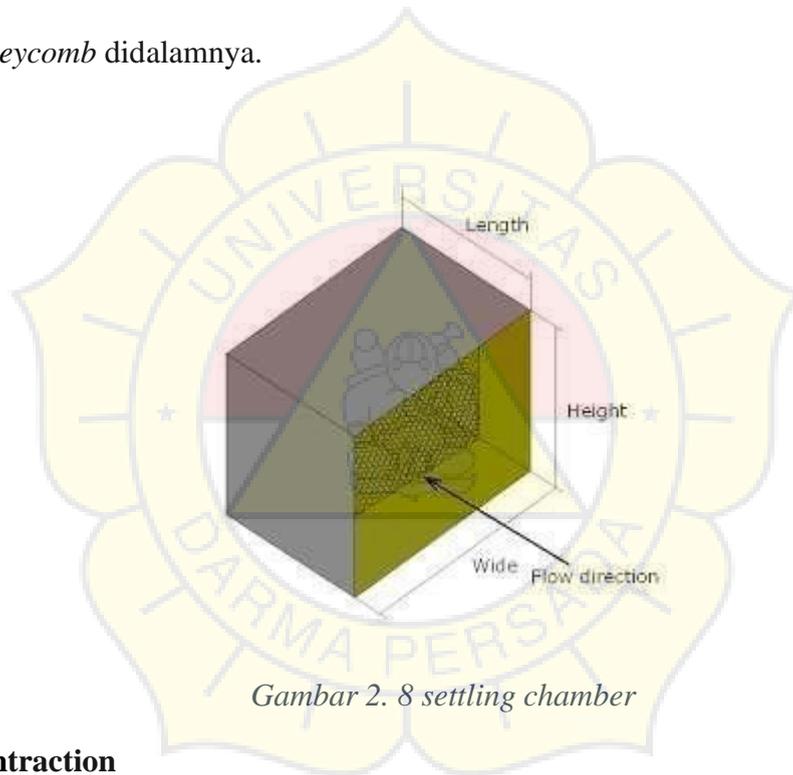
Gambar 2. 7 bentuk frontal area pada benda dan koefisien dragnya (wikipedia)

2.6.2. Komponen Wind Tunnel Open Circuit

Kualitas aliran test section, yaitu keseragaman aliran dan level turbulensi dalam kedua arah axial dan lateral, harus ditunjukkan dalam desain dan pembuatan rangkaian terbuka wind tunnel ini. Selain itu, manfaat wind tunnel untuk kendaraan, sipil, arsitektur, dan lingkungan juga harus dipertimbangkan. Ini juga akan berdampak pada jumlah Reynolds yang diinginkan. Berikut ini adalah penjelasan desain masing-masing komponen rangkaian terbuka *wind tunnel* :

- **Settling chamber**

Ini adalah tempat aliran udara pertama kali masuk kedalam rangkaian terbuka wind tunnel tipe suction (hisap). Bagian ini juga memiliki ruang penyesuaian aliran udara untuk memastikan aliran udara di bagian uji memiliki keseragaman dan tingkat turbulensi yang rendah baik dalam arah axial maupun lateral. Gambar 2.8, menunjukkan skema pada *settling chamber* dengan *honeycomb* didalamnya.

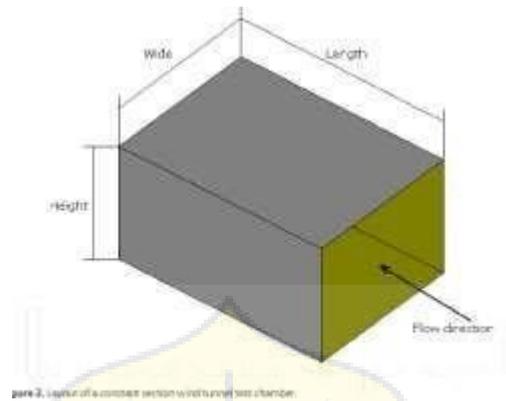


Gambar 2. 8 settling chamber

- **Contraction**

Kontraksi adalah aliran dari settling chamber ke arah bagian tes. Rasio kontraksi, yaitu rasio luas penampang pada saat masuk dan keluar contraction, sangat berpengaruh pada parameter akselerasi dan ketidak seragaman aliran.

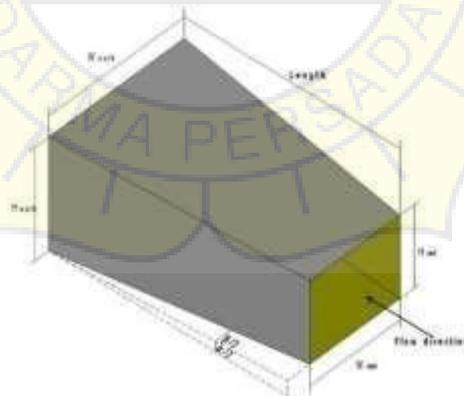
- **Test section**



Gambar 2. 9 Test Section

Objektif yang akan diuji diletakkan di bagian uji. Oleh karena itu, kecepatan dan kualitas aliran udara yang diinginkan pada bagian tes harus menjadi perhatian utama saat mendesain wind tunnel..

- **Diffuser**



Gambar 2. 10 Diffuser

Diffuser memanfaatkan tekanan statik untuk meningkatkan efektivitas wind tunnel. Selain itu, menjaga aliran tetap konstan sangat penting. menyatu (flow attached). Dan jika terjadi pemisahan aliran, atau pemisahan, tekanan akan diberikan ke bagian tes, menyebabkan ketidakseragaman tekanan dan kecepatan. Sudut buka diffuser harus tidak lebih dari 5° untuk mencegah aliran keluar.

- **Power drive (Fan dan Motor)**

Penggerak daya berfungsi sebagian besar untuk menjaga kecepatan aliran udara di ruang angin tetap konstan, dan disipasi tekanan mengkompensasi semua kehilangan. Volume udara dapat dihitung dengan mengalikan hasil kali antara kecepatan bagian tes, V , dan luas penampang bagian tes.



Gambar 2. 11 Power Drive (Fan dan Motor)

- **Fan (kipas)**

Kipas (kipas) adalah alat untuk menciptakan aliran gas cair, yaitu udara. Ketika kipas menciptakan aliran cairan dengan volume udara yang besar pada tekanan minimum, dapat digunakan secara luas untuk kenyamanan dalam ruangan (kipas dinding/kipas meja), sistem pendingin kendaraan dan pengoperasian mesin, ventilasi, pembersihan vakum, pengeringan, dll. Sistem (dengan pemanas), pembakaran gas, bahkan dapat memasok gas dan udara berbahaya ke proses pembakaran (misalnya boiler). Dalam hal ini, kipas juga dapat digunakan sebagai alat untuk menghasilkan aliran udara untuk uji aerodinamis di dalam terowongan angin.

