

## 2. TEORI DASAR

Prinsip dasar untuk menganalisa katup diafragma dan katup kupu-kupu pada terowongan angin, menyangkut konsep-konsep tentang aliran fluida, karena dengan cara katup tersebut dialiri suatu aliran angin, maka akan didapat suatu diagram distribusi tekanan dan distribusi kecepatan pada katup tersebut.

### 2. 1. Dasar Mekanika Fluida

Fluida didefinisikan sebagai zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus-menerus) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser itu. Bahan yang bukan fluida tidak dapat memenuhi definisi fluida, contohnya bahan plastik akan berubah bentuk sejumlah tertentu yang sebanding dengan gaya, tetapi tidak secara kontinu bila tegangan yang diterapkan itu lebih rendah daripada tegangan geser serahnya. Sifat-sifat fluida diidealisasikan dengan keadaan *steady*, tanpa gesekan, dan aliran yang *incompressible*.

#### 2.1. 1. Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Hukum viskositas Newton:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.1)$$

Tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tergantung pada kohesinya dan pada laju perpindahan momentum molekularnya. Jadi viskositas disebabkan oleh gesekan secara molekular antar partikel fluida. Cairan memiliki molekul-molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar daripada gas. Kohesi merupakan penyebab utama viskositas dalam cairan, karena kohesi berkurang dengan naiknya suhu maka viskositas suatu cairan akan berkurang juga dengan naiknya suhu. Sebaliknya gas mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil, sebagian dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekular. Kegiatan molekular menimbulkan tegangan geser semu dalam gas, yang lebih

penting daripada gaya-gaya kohesi, dan karena pergerakan molekular meningkat dengan meningkatnya suhu, maka viskositas gas juga meningkat dengan meningkatnya suhu.

Viskositas  $\mu$  sering disebut sebagai viskositas mutlak atau viskositas dinamik, sedangkan viskositas kinematik merupakan perbandingan viskositas terhadap kerapatan massa:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

Viskositas praktis tidak tergantung pada tekanan dan bergantung hanya pada suhu. Viskositas kinematik cairan dan gas pada tekanan tertentu pada pokoknya merupakan fungsi suhu.

### 2.1. 2. Gas Ideal

Hubungan-hubungan termodinamika dan kasus-kasus aliran fluida mampu-mampat pada umumnya terbatas pada gas sempurna. Gas sempurna didefinisikan sebagai suatu zat yang memenuhi hukum gas sempurna:

$$pv = RT \quad (2.3)$$

dan yang mempunyai panas jenis konstan, dimana:

$p$  = Tekanan mutlak

$v$  = Volume jenis

$R$  = Konstanta gas

$T$  = Suhu mutlak

Kita harus dapat membedakan antara gas sempurna dan fluida ideal secara cermat. Fluida ideal adalah tanpa gesekan dan *incompressible*, sedangkan gas sempurna mempunyai viskositas dan oleh karena itu dapat mengembangkan tegangan-tegangan geser, dan menurut persamaan 2.3 adalah *compressible*. Hukum gas sempurna mencakup hukum Charles dan hukum Boyle. Hukum Charles menyatakan bahwa untuk tekanan yang konstan maka volume suatu massa gas yang tertentu berubah seperti suhu mutlaknya. Hukum Boyle (hukum isothermal) menyatakan bahwa untuk suhu yang konstan maka kerapatan berbanding lurus dengan tekanan mutlaknya.

### 2.1. 3. Definisi Aliran

Aliran dapat diklasifikasikan dalam banyak cara seperti turbulen, laminar, stedi, tak stedi, seragam, dan tak seragam.

#### 2.1.3. 1. Aliran Turbulen

Situasi aliran turbulen sangat sering terjadi dalam praktek rekayasa. Dalam aliran turbulen partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian lainnya dengan cara yang agak menyerupai perpindahan momentum molekular dalam skala yang jauh lebih besar. Partikel fluida tersebut dapat berukuran dari sangat kecil (kira-kira beberapa ribu molekul) sampai sangat besar (beribu-ribu *foot kubik* dalam pusran yang besar di sungai atau dalam hampasan udara atmosfer).

Turbulensi dapat mengakibatkan tegangan geser yang lebih besar di seluruh fluida dan mengakibatkan lebih banyak ketakmampubalikan (*irreversibilitas*) atau kerugian.

#### 2.1.3. 2. Aliran Laminar

Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus serta lancar dalam lamina-lamina atau lapisan-lapisan, dengan satu lapisan meluncur secara mulus pada lapisan yang bersebelahan. Aliran laminar mengikuti hukum Newton tentang viskositas (Pers 2.1), yang menghubungkan tegangan geser dengan laju perubahan bentuk sudut. Aliran laminar tidak stabil dalam situasi yang menyangkut gabungan viskositas yang rendah, kecepatan yang tinggi, atau laluan aliran yang besar, serta berubah menjadi turbulen.

#### 2.1.3. 3. Aliran *Steady* dan Tak *Steady*

Aliran *steady* terjadi bila kondisi di titik manapun di dalam fluida tidak berubah dengan waktu. Sebagai contoh, jika kecepatan di suatu titik tertentu adalah 3 m/s dalam arah x, maka kecepatan tersebut tetap sebesar itu serta dalam arah itu untuk jangka waktu yang tidak terbatas. Demikian pula dalam aliran

*steady* tidak terdapat perubahan kerapatan  $\rho$ , tekanan  $p$ , atau suhu  $T$  dengan waktu di titik manapun, jadi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (2.4)$$

Sebaliknya aliran dikatakan tak *steady* jika pada suatu titik terjadi perubahan properti fluida terhadap waktu.

#### 2.1.3. 4. Aliran Seragam dan Tak Seragam

Aliran ini terjadi jika di tiap titik vektor kecepatan adalah sama secara identik (dalam besar serta arahnya) untuk setiap saat tertentu. Dalam bentuk persamaan,  $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$ , dimana waktu ditahan konstan dan  $\delta s$  adalah perpindahan dalam arah manapun. Persamaan tersebut menyatakan bahwa tidak terdapat perubahan vektor kecepatan dalam arah manapun di seluruh fluida pada saat manapun. Bila semua penampang sejajar sepanjang konduit adalah identik dan kecepatan rata-rata di tiap-tiap penampang adalah sama pada setiap saat tertentu, maka aliran tersebut dapat dikatakan seragam.

Sedangkan aliran yang vektor kecepatannya berubah dari tempat ke tempat pada setiap saat disebut dengan aliran tak seragam. Cairan yang dipompakan melalui pipa lurus yang panjang mempunyai aliran yang seragam, sedangkan cairan yang mengalir melalui bagian pipa yang mengecil atau bengkok mempunyai aliran yang tak seragam.

## 2. 2. Penerapan Volume Atur Pada Kontinuitas

Prinsip dasar persamaan persamaan kontinuitas adalah massa tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, dimana massa dalam suatu sistem yang konstan dapat dinyatakan dalam rumus:

$$\rho_1 \cdot v_1 \cdot dA_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot dA_2 \quad (2.5)$$

Jika aliran tersebut mempunyai sifat *incompressible, steady flow*, maka persamaan menjadi:

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2.6)$$

dimana:

$Q$  = debit aliran fluida

$A_1$  = luas penampang masuk batas sistem

$V_1$  = kecepatan aliran masuk batas sistem

$A_2$  = luas penampang keluar batas sistem

$V_2$  = kecepatan aliran keluar batas sistem

### 2. 3. Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli:

$$gz + \frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} = \text{konstan} \quad (2.7)$$

Nilai konstanta Bernoulli ini akan tetap konstan sepanjang suatu garis aliran dalam aliran yang *steady*, tanpa gesekan, dan takmampumampat. Bila persamaan 2.7 dibagi dengan  $g$  maka didapat:

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} = \text{konstan} \quad (2.8)$$

Dengan mengalikan persamaan 2.7 dengan  $\rho$ , maka diperoleh:

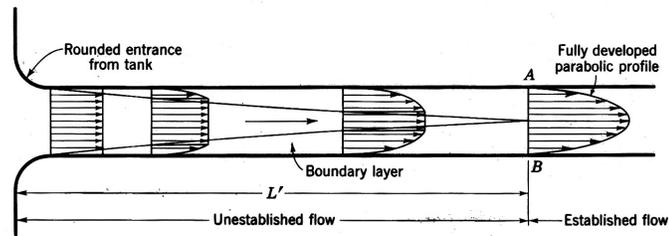
$$\rho z + \frac{\rho v^2}{2} + p = \text{konst} \quad (2.9)$$

Masing-masing suku dalam persamaan Bernoulli dapat ditafsirkan sebagai bentuk energi. Dalam pers 2.7 suku pertama adalah energi potensial persatuan massa, suku kedua adalah energi kinetik persatuan massa, sedangkan suku terakhir adalah energi tekanan persatuan massa. Kerja aliran dapat didefinisikan sebagai kerja bersih yang dilakukan oleh elemen fluida terhadap lingkungannya selagi fluida tersebut mengalir.

### 2. 4. Aliran Dalam

Pada suatu pipa saluran, dimana pada bagian masuk pipa dibuat alur agar tidak terjadi gangguan awal pada aliran, semua partikel akan mengalir dengan kecepatan yang sama. Gerakan fluida nyata sangat terpengaruh oleh adanya batas, partikel yang bersentuhan dengan dinding mempunyai kecepatan nol. Dalam medan aliran terdapat gradien kecepatan yang kuat di dekat dinding, yaitu suatu

daerah yang dikenal sebagai lapisan batas. Ketika fluida terus mengalir sepanjang pipa, kecepatan aliran di sekitar dinding diperlambat karena adanya gesekan dengan dinding. Karena berdasarkan hukum kontinuitas dimana debitnya adalah konstan, maka kecepatan harus meningkat di daerah tengah sampai akhirnya profil kecepatan berupa parabola.



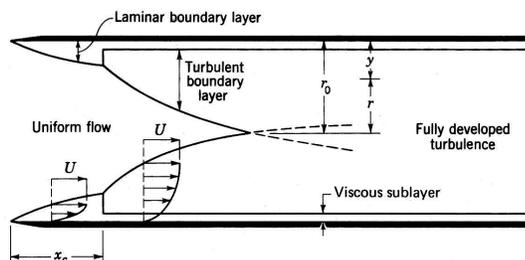
Gambar 2. 1. Profil Kecepatan Aliran Laminar di Dalam Pipa

(Sumber : Fox, Robert W. and McDonald, Alan T. 1985. *Introduction to Fluid Mechanics*)

Di belakang suatu panjang peralihan  $L'$ , profil kecepatan tidak berubah karena pengaruh batas telah menjangkau sumbu pipa. Panjang peralihan tersebut merupakan fungsi bilangan Reynolds. Untuk aliran yang laminar *Langhaar* telah mengembangkan rumus:

$$\frac{L'}{D} = 0,058 Re \quad (2.10)$$

Dalam aliran turbulen lapisan batas tumbuh lebih cepat dan peralihan menjadi jauh lebih pendek daripada yang diberikan oleh persamaan diatas.



Gambar 2. 2. Perkembangan Lapisan Batas di Dalam Pipa

(Sumber : Fox, Robert W. and McDonald, Alan T. 1985. *Introduction to Fluid Mechanics*)

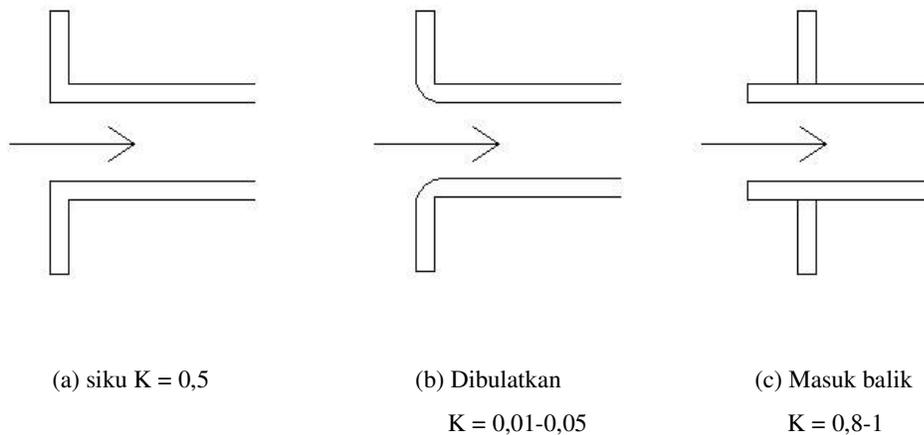
Dalam aliran *incompressible steady* di dalam pipa, ketakmampubalikan dinyatakan dalam kerugian tinggi tekan. Untuk perhitungan aliran di dalam pipa pada umumnya dipakai persamaan *Darcy-Weisbach*:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.11)$$

$h_f$  adalah kerugian tinggi tekan atau jatuh garis gradien hidrolik, dalam panjang pipa  $L$ , yang mempunyai garis tengah dalam  $D$  dan kecepatan rata-rata  $V$ .

### 2. 5. Kerugian-kerugian Kecil

Kerugian yang terjadi dalam jalur pipa karena belokan, siku, sambungan, katup, dan sebagainya. Sebagai kerugian tinggi-tekan dilubang masuk pipa dari reservoir biasanya dipergunakan  $0,5 V^2/2g$  jika lubang bertepi siku-siku. Untuk lubang masuk yang dibulatkan secara baik, besarnya kerugian antara  $0,01 V^2/2g$ - $0,05 V^2/2g$  dan biasanya diabaikan. Untuk lubang masuk balik, seperti pipa yang menembus ke dalam reservoir melalui dinding, kerugian diambil sebagai  $1,0 V^2/2g$  untuk dinding pipa yang tipis.



Gambar 2. 3. Koefisien Kerugian Tinggi-tekan  $K$ , dalam Jumlah Tinggi Kecepatan,  $V^2/2g$  Untuk Lubang Masuk Pipa

(Sumber: Streeter, Victor L. And Wylie, E. Benjamin. 1988. *Mekanika Fluida*. Jilid 1, hal 211)

Kerugian kecil dapat dinyatakan dalam panjang pipa ekuivalen  $L_e$ , yang mempunyai kerugian tinggi tekan dalam meter newton per newton yang sama untuk debit yang sama. Persamaan menjadi:

$$f \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2g} = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.12)$$

Dengan  $K$  yang dapat terkait dengan sebuah kerugian tinggi tekan kecil atau jumlah beberapa kerugian. Penyelesaian untuk  $L_e$  menghasilkan

$$L_e = \frac{KD}{f} \quad (2.13)$$

## 2. 6. Pengukuran Fluida

Pengukuran fluida termasuk pengukuran tekanan, kecepatan, debit, gelombang kejut, gradien kecepatan, turbulensi, dan viskositas. Terdapat banyak cara dalam melakukan pengukuran-pengukuran ini, misalnya: langsung, tak langsung, gravimetrik, volumetrik, elektronik, elektromagnetik, dan optik. Contoh pengukuran debit secara langsung terdiri atas penentuan volume atau berat fluida yang melalui suatu penampang dalam suatu selang waktu tertentu. Metode tak langsung bagi pengukuran debit memerlukan penentuan tinggi tekan, perbedaan tekanan, atau kecepatan di beberapa titik pada suatu penampang. Metode-metode yang paling teliti adalah penentuan gravimetrik atau penentuan volumetrik, dengan berat atau volume diukur, atau penentuan dengan mempergunakan tangki yang telah dikalibrasi untuk selang waktu yang diukur.

### 2.6. 1. Pengukuran Tekanan

Hubungan antara kecepatan dan tekanan terdapat dalam persamaan energi, sehingga pengukuran tekanan seringkali digunakan untuk menentukan kecepatan arus fluida. Tekanan statik suatu fluida yang bergerak adalah tekanannya bila kecepatan tidak terganggu oleh pengukuran. Untuk mendapatkan pengukuran yang akurat pada tekanan statik, penting diketahui bahwa alat pengukur harus tepat dengan sempurna pada *streamlines* agar tidak menciptakan gangguan pada aliran. Di dalam suatu saluran lurus, tekanan statik biasanya diukur dengan menggunakan piezometer yang dihubungkan dengan alat pengukur

tekanan atau manometer pipa U. Bila aliran sejajar, maka variasi tekanan yang normal (tegak lurus) terhadap garis-garis aliran adalah hidrostatis, oleh karena itu dengan mengukur tekanan pada dinding maka tekanan di setiap titik lain pada penampang yang bersangkutan dapat ditentukan. Lubang pada ujung manometer pipa U sebaiknya kecil, dengan panjang lubang sekurang-kurangnya dua kali garis tengahnya, dan hendaknya tegak lurus terhadap permukaan. Dapat diperkenankan membulatkan lubang tersebut sedikit, karena ketidaklurusan atau kekasaran sedikit saja pada lubang dapat menyebabkan kesalahan pengukuran.

## 2.6. 2. Pengukuran Kecepatan

Pengukuran kecepatan merupakan suatu fase yang penting dalam pengukuran aliran, karena penentuan kecepatan di sejumlah titik pada suatu penampang memungkinkan penentuan besarnya debit. Kecepatan dapat diperoleh dengan mengukur waktu yang diperlukan suatu partikel yang dapat dikenali untuk bergerak sepanjang suatu jarak yang diketahui. Hal ini dilaksanakan bilamana saja mudah atau perlu. Teknik ini telah dikembangkan guna mempelajari aliran di dalam daerah yang begitu kecilnya sehingga aliran normalnya akan sangat terganggu dan barangkali lenyap seandainya disisipkan instrumen untuk mengukur kecepatan. Harus disediakan daerah pengamatan yang tembus pandang, dan dengan sarana lampu yang terang serta mikroskop yang kuat maka ketakmurnian yang sangat kecil-kecil di dalam fluida dapat diambil gambarnya dengan kamera gambar-hidup berkecepatan tinggi. Dari film demikian kita dapat menentukan kecepatan partikel-partikel tersebut, dan dengan demikian menentukan kecepatan fluida dalam suatu daerah yang kecil.

### 2.6.2. 1. Tabung Pitot

Tabung Pitot tidak mengukur kecepatan secara langsung tetapi menghasilkan suatu besaran yang dapat diukur dan yang dapat dihubungkan dengan kecepatan. Tabung Pitot beroperasi berdasarkan asas demikian dan merupakan salah satu metode pengukuran kecepatan yang paling tepat.

Dalam gambar 2.6 dapat dilihat sebuah tabung kaca atau jarum suntik dengan belokan siku-siku dipergunakan untuk mengukur kecepatan  $v$  di dalam

suatu saluran terbuka. Lubang tabung diarahkan ke hulu sehingga fluida mengalir ke dalam lubang tersebut sampai tekanan di dalam tabung meningkat secukupnya untuk menahan dampak kecepatan terhadapnya.

Tepat di depan lubang tersebut fluida tidak bergerak. Garis aliran yang melalui 1 melintas ke titik 2, yang disebut titik stagnasi, tempat fluida tidak bergerak, dan di sana bercabang serta melintas di sekitar tabung. Tekanan di 2 diketahui dari kolom cairan di dalam tabung. Persamaan Bernoulli, yang diterapkan antara titik 1 dan 2, menghasilkan:

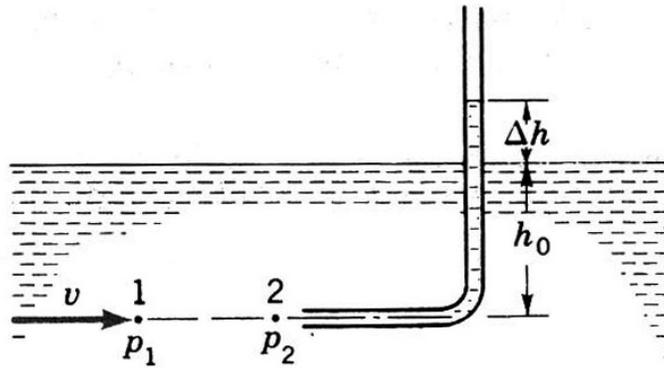
$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} = h_0 + \Delta h \quad (2.14)$$

Karena kedua titik terletak pada ketinggian yang sama, dan  $\frac{p_1}{\gamma} = h_0$ , maka persamaan diatas menjadi

$$\frac{v^2}{2g} = \Delta h$$

atau

$$v = \sqrt{2g\Delta h} \quad (2.15)$$



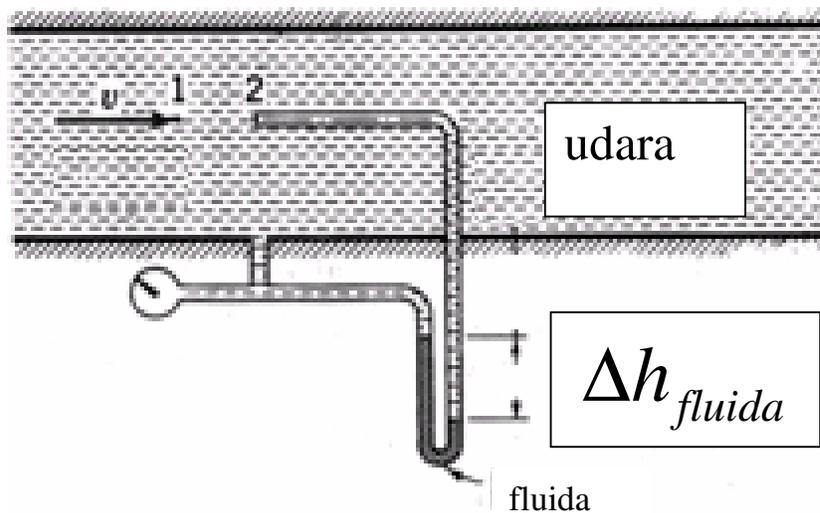
Gambar 2. 4. Tabung Pitot Sederhana

(Sumber: Streeter, Victor L. And Wylie, E. Benjamin. 1988. *Mekanika Fluida*.

Jilid 2, hal 328)

Tabung pitot mengukur tekanan stagnasi yang juga disebut tekanan total. Tekanan total ini terdiri dari dua bagian, yaitu tekanan statik  $h_0$  dan tekanan dinamik  $\Delta h$ , yang dinyatakan dalam panjang kolom fluida yang mengalir.

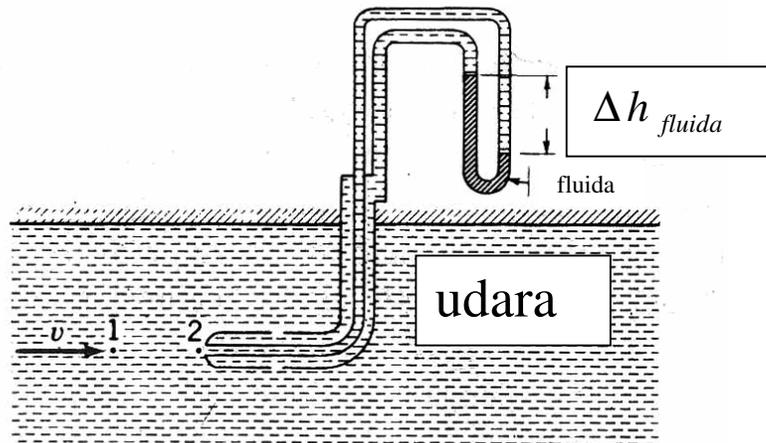
Dengan menggabungkan pengukuran tekanan statik dan pengukuran tekanan total, yaitu dengan mengukur masing-masing tekanan dan menghubungkannya dengan kedua ujung sebuah manometer diferensial, maka diperoleh tinggi tekana dinamik.



Gambar 2. 5. Tabung Pitot dan Tabung Manometer Diferensial  
(Sumber: Streeter, Victor L. And Wylie, E. Benjamin. 1988. *Mekanika Fluida*.  
Jilid 2, hal 328)

Tabung pitot juga tidak peka terhadap kesebarisan aliran, dan terjadi kesalahan sebesar hanya beberapa persen jika tabung mempunyai ketaksebarisan menyamping kurang dari  $15^\circ$ .

Tabung statik dan tabung pitot dapat digabungkan menjadi satu instrumen, yang disebut tabung pitot-statik seperti gambar di bawah



Gambar 2. 6. Tabung Pitot Statik

(Sumber: Streeter, Victor L. And Wylie, E. Benjamin. 1988. *Mekanika Fluida*.  
Jilid 2, hal 328)

Pada suatu tabung pitot statik didapat perumusan:

$$gz_1 + \frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = gz_2 + \frac{v_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} \quad (2.16)$$

Karena kedua titik terletak pada ketinggian yang sama  $gz_1$  &  $gz_2$  dapat dicoret dan  $v_2 = 0$ , maka persamaan diatas menjadi

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

$$v^2 = 2 \cdot \frac{P_2 - P_1}{\rho}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{(P_2 - P_1)}{\rho_{udara}}}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{\rho_{fluida} \cdot g \cdot \Delta h_{fluida}}{\rho_{udara}}} \quad (2.17)$$

Tekanan statik  $p_1$  dapat diperoleh dari lubang-lubang samping tabung pitot dan tekanan stagnasi dari lubang dampak yang dihubungkan dengan manometer biasa, atau  $p_2 - p_1$  dapat diperoleh dari manometer diferensial.

## 2. 7. Pemilihan Alat Ukur

Pemilihan alat ukur merupakan langkah awal yang sangat penting di dalam proses pengukuran, karena kebenaran dan keakuratan pengukuran tergantung pada jenis dan ketepatan alat ukur yang digunakan. Untuk maksud tersebut dibutuhkan kriteria dalam menentukan keterhandalan suatu alat ukur.

Keterhandalan suatu alat ukur (instrumen) ditunjukkan dari data spesifikasi yang dikeluarkan pembuat alat ukur tersebut, misalnya dalam bentuk label yang terdapat pada instrumen tersebut atau pada buku pedoman yang menyertainya.

Beberapa faktor sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan alat ukur adalah sebagai berikut:

1. Faktor teknis

Berkaitan dengan data instrumen, yang menyatakan kemampuan instrumen dalam memperoleh dan memberikan informasi yang tepat. Pada umumnya dicantumkan dalam spesifikasi instrumen.

2. Faktor kepraktisan

Berkaitan dengan kemudahan penggunaan instrumen dan kecepatan dalam memberikan hasil pengukuran.

3. Faktor ekonomis

Berkaitan dengan pengadaan dana, baik untuk pengadaan peralatan maupun untuk pemeliharaan peralatan tersebut.

## 2. 8. Aerodinamika

Perbedaan yang mendasar tentang tingkat keadaan partikel antara padat, cair dan gas terletak pada tingkat kekerapan molekul dalam suatu volume yang sama. Perbedaan yang lebih mendasar antara benda padat, cair dan gas adalah pada tingkat atom dan molekulnya. Dinamika fluida dibagi menjadi tiga bagian besar yaitu:

- *Hydrodynamics*, membahas laku aliran cairan
- *Gas Dynamics*, membahas laju aliran gas
- *Aerodynamics*, membahas laku aliran udara

Aerodinamika didefinisikan sebagai dinamika dari gas-gas, khususnya interaksi antara obyek yang bergerak dengan udara sekitarnya [Anderson, John D., Jr. (1986)]. Permodelan aerodinamika ini dapat dianalisa dengan perhitungan secara analitik. Banyaknya variabel yang terkandung dalam penganalisaan aerodinamika menyebabkan perhitungan secara analitik rumit dan kompleks. Tetapi perhitungan yang rumit dan kompleks tersebut dapat dihindari dengan melakukan eksperimen.

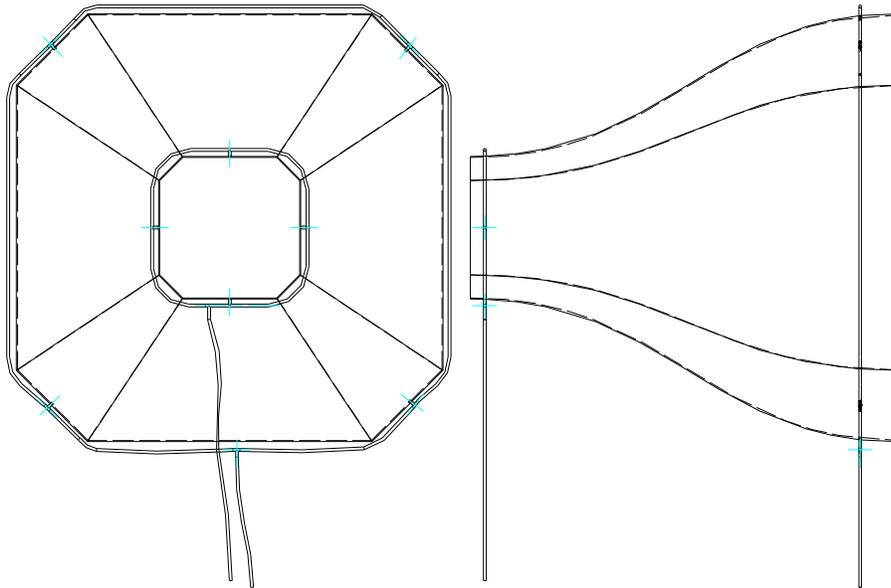
Gaya aerodinamik dapat muncul sebagai akibat dari aliran udara pada suatu permukaan dari suatu benda seperti pesawat, mobil, kereta api, helikopter, dan sebagainya. Gaya-gaya aerodinamik dapat muncul karena adanya distribusi tekanan yang berbeda-beda pada permukaan dan tegangan geser pada permukaan yang berasal dari efek gesekan fluida yang melawan bidang permukaan benda.

Hambatan aerodinamik dapat juga diklasifikasikan sebagai berikut:

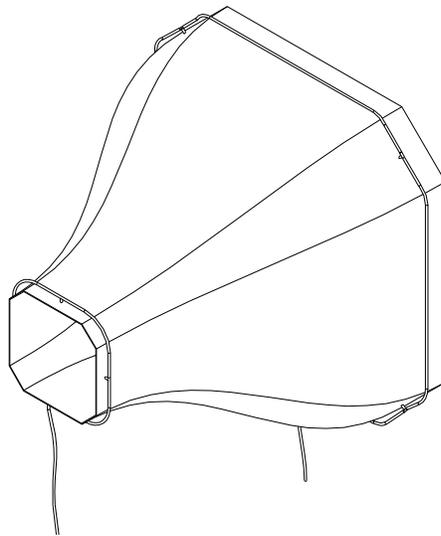
1. Hambatan akibat gesekan (*shear force*) yang dapat terjadi pada bidang permukaan.
2. Hambatan akibat tekanan (*pressure drag*).

## **2. 9. Pengukuran Kecepatan Udara Rata-rata Pada *Test Section***

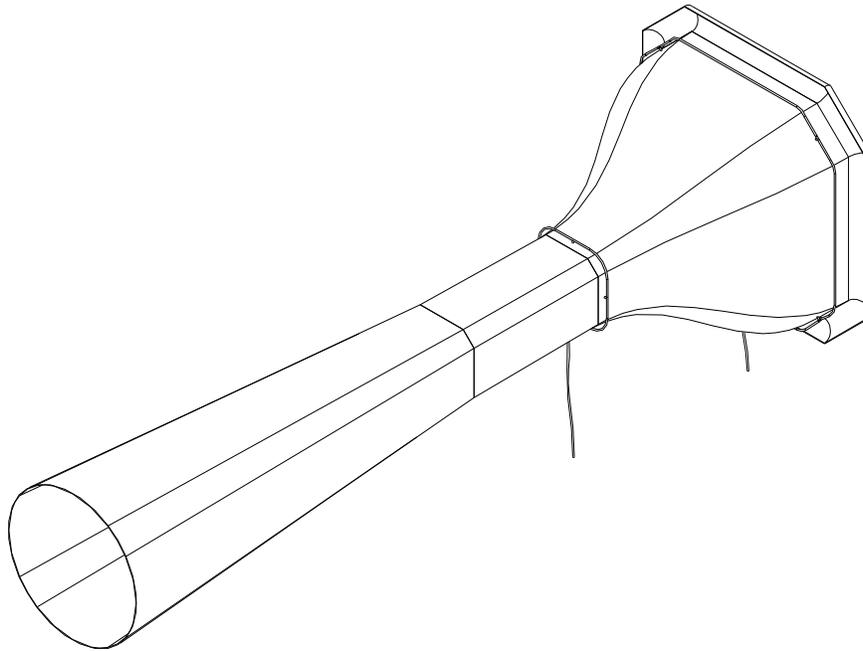
Pengukuran kecepatan udara rata-rata ini dilakukan dengan prinsip yang sama seperti pengukuran pada model diatas. Lubang-lubang piezometer ada empat buah membentuk cincin piezometer. Cincin-cincin piezometer ini terletak pada bagian *contraction cone* (sesudah *honeycomb*) dan bagian depan sebelum *test section*.



Gambar 2. 7. *Contraction Cone* Tampak Depan dan Kanan



Gambar 2. 8. *Contraction Cone* Tampak Tiga Dimensi



Gambar 2. 9. *Wind Tunnel* Tampak Tiga Dimensi

Cincin-cincin piezometer ini kemudian dihubungkan dengan sebuah manometer diferensial untuk mendapatkan selisih tekanan statis antara bagian ujung dan akhir *contraction cone*.

Pengukuran kecepatan didapatkan dengan menurunkan persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$gz + \frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} = \text{kons tan}$$

$$gz_1 + \frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = gz_2 + \frac{v_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho}$$

Karena kedua titik terletak pada ketinggian yang sama  $gz_1$  &  $gz_2$  dapat dieleminasi, maka persamaan diatas menjadi:

$$\frac{v_2^2}{2} = \frac{1}{\rho}(P_1 - P_2) + \frac{v_1^2}{2} \quad (2.18)$$

Kondisi aliran *steady* dan *incompressible flow*:

$$\rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2$$

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

$$v_1 = \frac{v_2 \cdot A_2}{A_1} \quad (2.19)$$

Persamaan (2.18) dan (2.19) dapat digabungkan menjadi:

$$v_2^2 = \frac{2}{\rho} (P_1 - P_2) + \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \cdot v_2^2$$

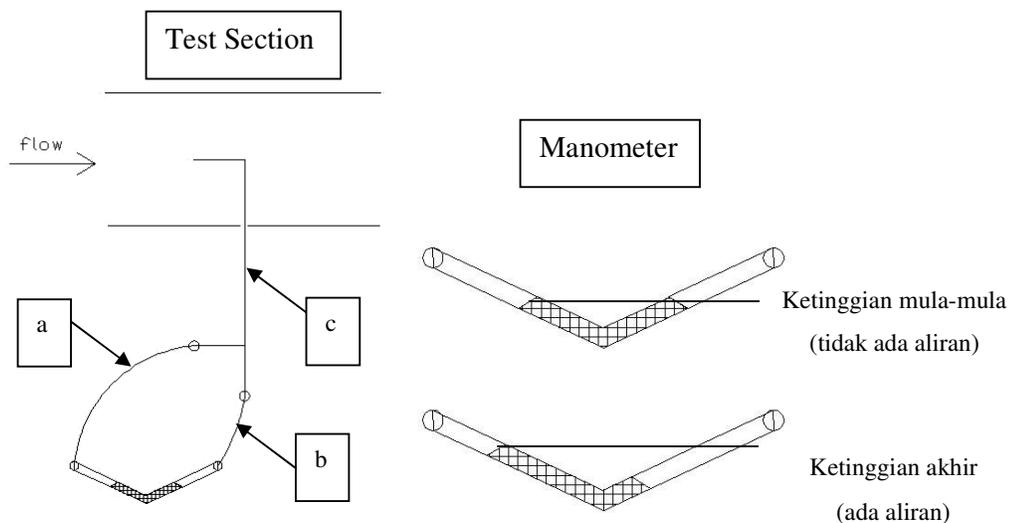
$$\left( 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right) v_2^2 = \frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)$$

$$v_2^2 = \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left( 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)} \quad (2.20)$$

$v_2$  adalah besar kecepatan rata-rata pada *test section*.

## 2. 10. Pengukuran Kecepatan Udara pada Titik Tertentu di *Test Section*

Untuk mengukur kecepatan udara pada titik tertentu, cara yang paling tepat dan mudah adalah dengan menggunakan tabung pitot. Tabung pitot yang dipakai disini adalah jenis tabung pitot statik yang dapat mengukur sekaligus tekanan total dan tekanan statis.



Gambar 2. 10. a. Selang Statis b. Selang Total c. Tabung Pitot

Berdasarkan persamaan 2.17 maka didapat:

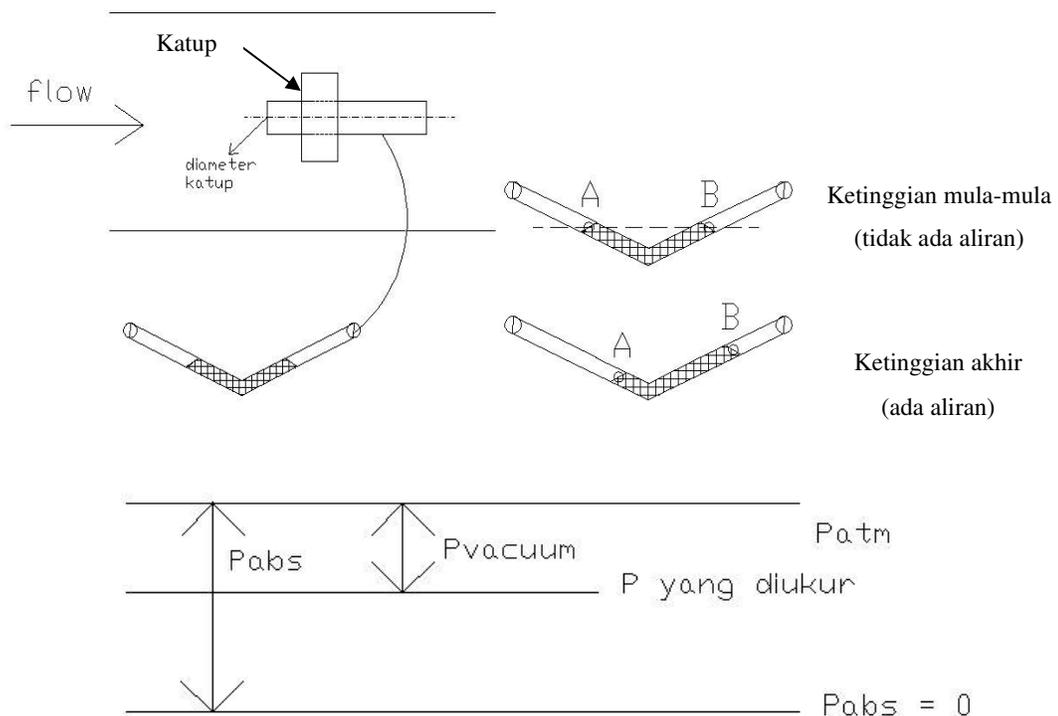
$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{\rho_{\text{fluida}} \cdot g \cdot \Delta h_{\text{fluida}}}{\rho_{\text{udara}}}}$$

Tekanan total dan tekanan statis ini dihubungkan dengan sebuah manometer diferensial sehingga akan didapatkan besar tekanan dinamis dalam tinggi kolom air. Untuk mendapatkan kecepatan udara maka tinggi kolom air harus diubah menjadi tinggi kolom udara dengan cara sebagai berikut:

## 2. 11. Pengukuran Tekanan Statis pada Tepi Dalam Katup

Untuk mencari tekanan statis pada tepi dalam katup dengan menggunakan persamaan Bernouli.

$$gz_1 + \frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = gz_2 + \frac{v_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho}$$



Gambar 2. 11. Skema Pengukuran Tekanan Statis

Karena,

$$P_A = P_B$$

$$P_T + \cancel{\rho_A \cdot g \cdot \Delta h_A} = P_{am} + \rho_{fluida} \cdot g \cdot \Delta h_{fluida}$$

$$\text{Tekanan absolut pada tepi dalam pipa} = P_{am} - (\Delta h_{fluida} \cdot \rho \cdot g) \quad (2.21)$$