

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Definisi Fluida**

Aliran fluida atau zat cair (termasuk uap air dan gas) dibedakan dari benda padat karena kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan. Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut, zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair dan gas, zat cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan padanya gaya yang sangat besar.

Gas tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Karena fase cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Dengan demikian kedua – duanya sering secara kolektif disebut sebagai fluida (Olson, 1990).

## B. Sifat-Sifat Fluida

Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu: kerapatan (*density*)  $\rho$ , (*specific gravity*) (*s.g*), tekanan (*pressure*)  $P$ , kekentalan (*viscosity*)  $\mu$ .

### 1. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan (*density*)  $\rho$  suatu zat adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa per satuan volume. Sifat ini ditentukan dengan cara menghitung perbandingan massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Dimana:  $v$  = volume fluida ( $\text{m}^3$ )

$m$  = massa fluida (kg)

$\rho$  = rapat massa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Volume jenis ( $v$ ) adalah volume yang ditempati oleh sebuah satuan massa zat dan karena itu merupakan kebalikan dari kerapatan:

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

berat jenis  $\gamma$  adalah gaya gravitasi terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat, maka:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (3)$$

Dimana:  $\rho$  = rapat massa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ )

*Specific gravity* (*s.g*) adalah sifat yang digunakan untuk membandingkan kerapatan suatu zat dengan kerapatan air. Karena kerapatan semua zat cair bergantung pada temperatur serta tekanan, maka temperatur zat cair yang dipertanyakan, serta temperatur air yang dijadikan acuan, harus dinyatakan untuk mendapatkan harga-harga gravitasi jenis yang tepat (Olson, 1990).

$$s.g = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (4)$$

Dimana: *s.g* = spesifik *grafity*  
 $\rho$  = rapat massa ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\rho_w$  = kerapatan air ( $\text{kg/m}^3$ )

## 2. Laju Aliran Massa

Laju aliran massa yang mengalir dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A$$

$$\dot{m} = \frac{V \cdot A}{v} \quad (5)$$

Dimana:  $\dot{m}$  = laju aliran massa ( $\text{kg/s}$ )  
 $V$  = kecepatan aliran fluida ( $\text{m/s}$ )  
 $v$  = volume jenis ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )  
 $A$  = luas penampang pipa ( $\text{m}^2$ )

Laju aliran adalah volume fluida yang dikeluarkan tiap detiknya. Laju aliran dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = V \cdot A \quad (6)$$

Dimana:  $Q =$  debit aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V =$  kecepatan aliran ( $\text{m/s}$ )

$A =$  Luas Penampang ( $\text{m}^2$ )

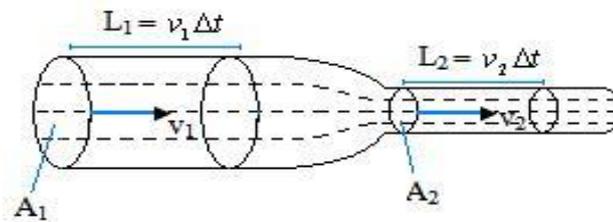
$D =$  diameter pipa ( $\text{m}$ )

laju aliran melalui  $A_1$  dan  $A_2$  harus sama, dengan demikian:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

disebut persamaan kontinuitas. Jika  $\rho_1 = \rho_2$ , maka persamaan kontinuitas menjadi:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (7)$$



**Gambar 1.** Kontinuitas.

### 3. Viskositas

Viskositas adalah ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan-perubahan bentuk. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur, hal ini disebabkan gaya-gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan berturunnya viskositas dari zat cair tersebut. Viskositas dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Viskositas dinamik atau viskositas mutlak atau *absolute viscosity*.

Viskositas dinamik adalah sifat fluida yang menghubungkan tegangan geser dengan gerakan fluida. Viskositas dinamik tampaknya sama dengan *ratio* tegangan geser terhadap gradien kecepatan.

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (8)$$

Dimana:  $\mu$  = viskositas dinamik (kg/m.s)

$\tau$  = tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

$du/dy$  = gradien kecepatan ((m/s)/m)

- b. Viskositas kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan kerapatan fluida.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (9)$$

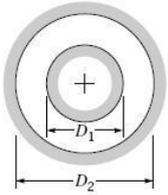
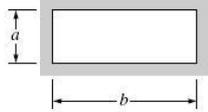
Dimana:  $\nu$  = viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

$\mu$  = viskositas dinamik (kg/m.s)

$\rho$  = kerapatan fluida (kg/m<sup>3</sup>)

### C. SALURAN TAK BUNDAR

Banyak saluran yang dibuat untuk memindahkan fluida berpenampang tidak bundar. Detil aliran pada saluran berpenampang persegi tergantung pada bentuk penampang yang sebenarnya dan banyak hasil dari pipa bundar dapat diterapkan pada aliran di dalam saluran dengan bentuk-bentuk yang lain.

Shape	Parameter
I. Concentric Annulus $D_h = D_2 - D_1$	$D_1/D_2$
	0.0001
	0.01
	0.1
	0.6
	1.00
II. Rectangle $D_h = \frac{2ab}{a+b}$	$a/b$
	0
	0.05
	0.10
	0.25
	0.50
	0.75
	1.00

**Gambar 2.** Penampang diameter hidrolis,  $D_h$  (Fauzan,2008).

Tanpa mempedulikan bentuk penampangnya, digunakanlah pendekatan diameter hidrolis untuk mengetahui diameter penampang selain bundar. Diameter hidrolis adalah empat kali rasio dari luas penampang aliran dibagi dengan keliling terbasahi (P) dari pipa. Diameter hidrolis mewakili suatu panjang karakteristik yang mendefinisikan ukuran sebuah penampang dari bentuk yang ditentukan. Faktor 4 ditambahkan dalam definisi  $D_h$ . Sehingga diameter hidrolis pipa berpenampang persegi sama dengan diameter pipa berpenampang bundar. Diameter hidrolis dapat didefinisikan sebagai (Fox dan Mc. Donald,1995):

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4 \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)}{\pi D} = D \text{ (m)} \quad (10)$$

Dimana:

$D_h$  = diameter hidrolis

$D$  = diameter

$A$  = luas penampang

$P$  = keliling basah

## D. Aliran Fluida

### 1. Klasifikasi aliran

Secara garis besar jenis aliran dapat dibedakan atau dikelompokkan sebagai berikut (Olson, 1990):

a) Aliran Tunak (*steady*)

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

b) Aliran Tidak Tunak (*unsteady*)

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

### 2. Tipe-tipe aliran

Bilangan Reynolds merupakan bilangan yang tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran dinamakan laminar, transisi dan turbulen.

$$\text{Re} = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (11)$$

Dimana:  $V$  = kecepatan fluida (m/s)

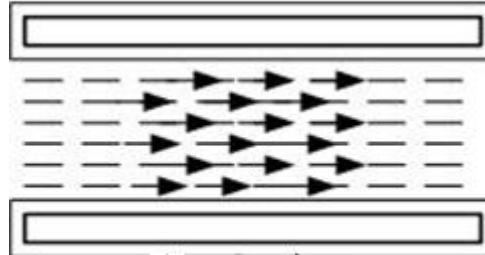
$D$  = diameter dalam pipa (m)

$\rho$  = rapat massa fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/ms}$ ) atau ( $\text{N.s/m}^2$ )

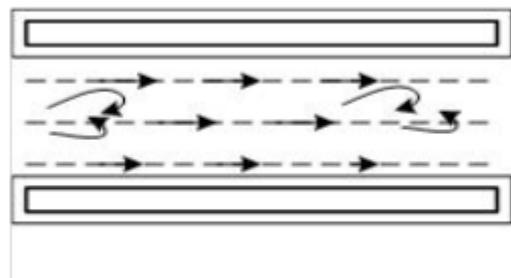
a) Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldsnya kurang dari 2300 ( $Re < 2300$ ).



**Gambar 3.** Aliran Laminar

- b) Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldsnya antara 2300 sampai dengan 4000 ( $2300 < Re < 4000$ ).

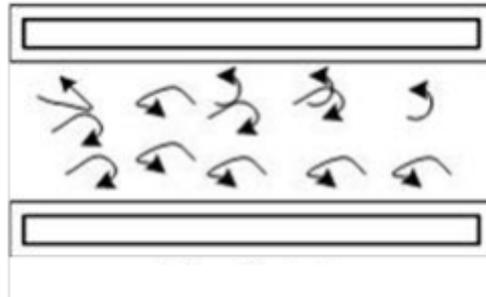


**Gambar 4.** Aliran Transisi

c) Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang

mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan Reynoldsnya lebih besar dari 4000 ( $Re > 4000$ ).

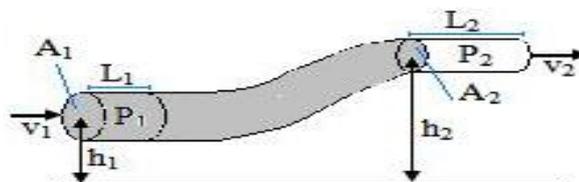


**Gambar 5.** Aliran Turbulen.

### E. Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli ideal adalah alirannya konstan sepanjang lintasan dan mengabaikan segala kerugian yang terjadi dalam lintasan fluida.

$$gz + \frac{V^2}{2} + \frac{P}{\rho} = \text{konstan}$$



**Gambar 7.** Persamaan Bernoulli

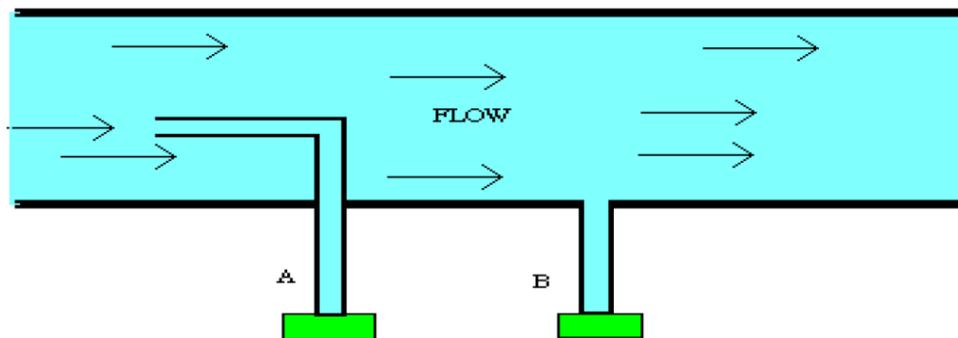
Persamaan untuk dua titik pada suatu garis aliran adalah:

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + h_L \quad (13)$$

Namun kenyataannya pada siring atau lintasan fluida terjadi kerugian gesekan.  $h_L$  adalah kerugian gesek didalam saluran.

## F. Tekanan Statik, Tekanan Stagnasi dan Tekanan Dinamik

Tekanan statik atau tekanan termodinamika pada persamaan Bernoulli adalah tekanan fluida yang diukur oleh alat yang bergerak bersama dengan fluida. Kondisi ini sangat sulit diwujudkan, namun dengan kenyataan bahwa tidak ada variasi tekanan pada arah penampang tegak lurus aliran, maka tekanan statik dapat diukur dengan membuat lubang kecil pada dinding aliran sedemikian rupa sehingga sumbuinya tegak lurus dinding aliran (*wall pressure tap*). Cara lain adalah dengan memasang probe atau tabung pitot pada aliran fluida jauh dari dinding aliran Gambar 6. Pengukuran tekanan statis dilakukan oleh lubang kecil di bagian bawah dinding tabung.



**Gambar 6.** Pengukuran tekanan. (A). Tekanan dinamik, (B) Tekanan statik. (Fox dan Mc. Donald, 1995)

Tekanan Stagnasi adalah tekanan fluida yang diukur pada aliran fluida yang diperlambat sampai diam,  $V = 0$  dengan kondisi aliran tanpa gesekan. Pengukuran tekanan stagnasi pada tabung pitot diukur oleh lubang kecil di mulut tabung yang akan tepat tegak lurus terhadap garis arus dari aliran. Untuk aliran tak mampu mampat dapat diterapkan persamaan Bernoulli pada

kondisi tanpa perubahan ketinggian. Jika  $P$  adalah tekanan statik pada penampang dengan kecepatan fluida adalah  $V$  dan  $P_o$  adalah tekanan stagnasi dimana kecepatan stagnasi aliran fluida  $V_o$  adalah 0, maka dapat dihitung :

$$P_o = P + \rho \frac{V^2}{2} \quad (12)$$

Suku kedua,  $\rho V^2/2$  adalah tekanan dinamik yaitu tekanan akibat kecepatan fluida, yakni selisih antara tekanan statik dengan tekanan stagnasi. maka pengukuran tekanan statis dan tekanan stagnasi dengan tabung pitot dapat juga sekaligus mengukur tekanan dinamisnya. Penerapan yang lain dari persamaan ini adalah perubahan tekanan dinamis menjadi kecepatan fluida dengan kondisi aliran tak mampu mampat. Dengan demikian tabung pitot dapat juga dipergunakan sebagai alat ukur kapasitas aliran.

### **G. Kerugian Tekanan Aliran Dalam Pipa (*Head Loss*)**

*Head loss* ( $H_L$ ) merupakan suatu kerugian yang dialami aliran fluida selama mengalir dimana kerugian itu tergantung pada geometri penampang saluran dan parameter-parameter fluida serta aliran itu sendiri. Kerugian tinggi tekan (*head loss*) dapat dibedakan atas kerugian gesekan dalam saluran (*major loss*) dan (*minor losses*).

#### 1. Kerugian Mayor (*major losses*)

Kerugian dalam pipa atau *major losses* merupakan kerugian yang disebabkan oleh gesekan aliran dengan pipa sepanjang lintasan. Kerugian gesekan untuk perhitungan aliran didalam pipa pada umumnya dipakai persamaan (Fox dan Mc. Donald, 1995).

$$h_{L \text{ mayor}} = f \frac{L.V^2}{D.2g} \quad (14)$$

Dimana:  $h_L$  = kerugian gesek dalam pipa (m)

$f$  = Faktor gesekan

$L$  = jarak *pressure tube* (m)

$D$  = diameter dalam pipa (m)

$V$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

## 2. Kerugian Minor (*minor losses*)

Merupakan kerugian yang akan terjadi apabila ukuran saluran, bentuk penampang atau aliran berubah. Secara umum kerugian ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{L \text{ minor}} = k \frac{V^2}{2.g} \quad (15)$$

Dimana:  $h_L$  = kerugian gesek dalam pipa (m)

$k$  = koefisien kerugian

$L$  = panjang (m)

$V$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

## H. Koefisiensi Gesek ( $f$ )

Parameter kekasaran pipa sering dipresentasikan sebagai faktor gesekan (*friction factor*). Koefisien gesek dipengaruhi oleh kecepatan, karena didistribusi kecepatan pada aliran laminar dan aliran turbulen berbeda. Untuk rumus koefisiensi geseknya ditinjau dengan persamaan:

$$f = \frac{\Delta P \cdot D \cdot 2g}{\gamma_{air} \cdot L \cdot V^2} \quad (16)$$

Dimana :

$f$  = koefisien gesek

$\Delta P$  = beda tekanan pada aliran masuk dan keluar (Pa)

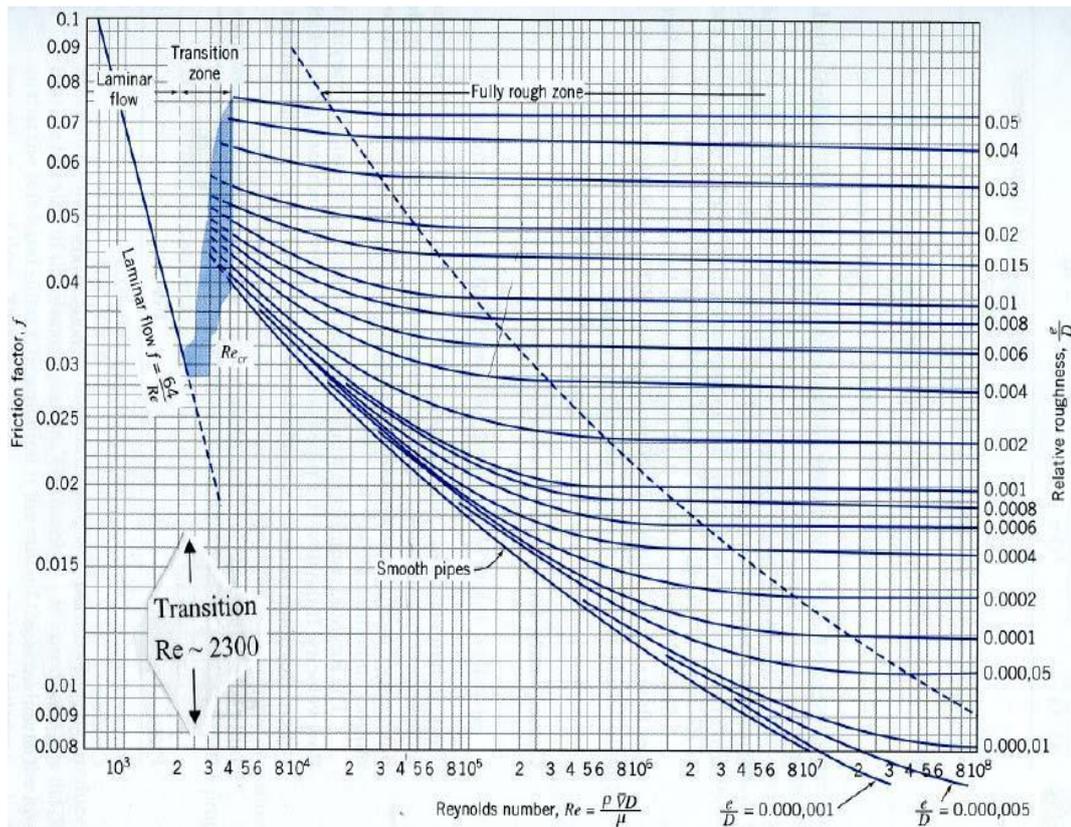
$D$  = diameter pipa (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$\gamma_{air}$  = berat jenis air ( $\text{N/m}^3$ )

$L$  = panjang (m)

$V$  = kecepatan aliran fluida (m/s)



**Gambar 8.** Diagram Moody (Fox dan Mc. Donald,1995)

Diagram Moody digunakan untuk menunjukkan ketergantungan fungsional faktor gesekan ( $f$ ) pada bilangan Reynolds ( $Re$ ) dan kekasaran relatif ( $\epsilon/D$ ). Perlu diperhatikan bahwa nilai  $\epsilon/D$  tidak perlu selalu bersesuaian dengan nilai aktual yang diperoleh melalui suatu penentuan mikroskopik dari ketinggian rata-rata kekasaran permukaan. Ada pun nilai kekasaran bahan ( $\epsilon$ ) di tampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Kekasaran Bahan

Pipe Material	Roughness Height (mm)
1. Wrought iron	0.04
2. Asbestos cement	0.05
3. Poly(vinyl chloride)	0.05
4. Steel	0.05
5. Asphalted cast iron	0.13
6. Galvanized iron	0.15
7. Cast/ductile iron	0.25
8. Concrete	0.3 to 3.0
9. Riveted steel	0.9 to 9.0

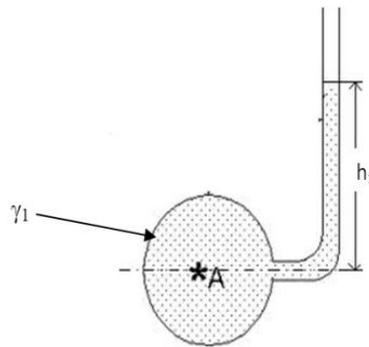
## I. Manometer

Sebuah teknik standar untuk mengukur tekanan melibatkan penggunaan kolom cairan dalam tabung-tabung tegak atau miring. Alat pengukur tekanan ini disebut manometer. Barometer air raksa adalah sebuah contoh manometer, namun masih banyak konfigurasi lain yang mungkin, tergantung pada penerapan tertentu. Ada tiga jenis manometer yang umum dipakai, yaitu:

### 1. Tabung Piezometer

Manometer tabung piezometer adalah manometer yang paling sederhana, terdiri dari sebuah tabung tegak yang terbuka dibagian atasnya dan dihubungkan dengan bejana yang ingin diketahui tekanannya. Karena manometer ini melibatkan kolom-kolom fluida dalam keadaan diam, persamaan dasar yang menggambarkan penggunaannya adalah:

$$P = \gamma h + P_0 \quad (17)$$



**Gambar 9.** Tabung Piezometer (Munson, 2003).

Perlu diingat bahwa dalam sebuah fluida diam, tekanan akan meningkat saat bergerak kebawah dan tekanan berkurang saat bergerak keatas. Pada tabung piezometer tekanan  $P_A$  dapat ditentukan dengan pengaruh  $h_1$  melalui hubungan:

$$P_A = \gamma_1 h_1 \quad (18)$$

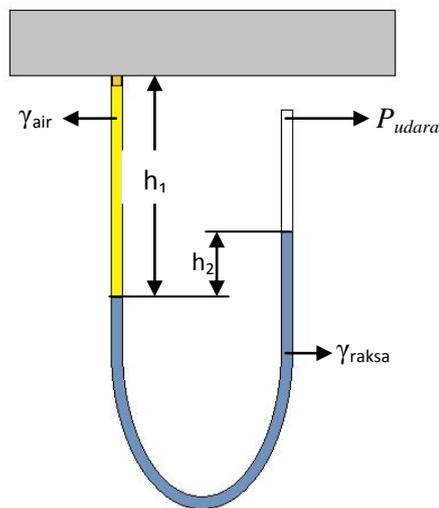
dimana  $\gamma_1$  berat jenis dari zat cair didalam bejana. Perlu dicatat bahwa tabung terbuka pada bagian atas, tekanan  $P_0 = 0$  dengan menggunakan  $h_1$  diukur dari meniskus dipermukaan atas sampai titik 1, karena titik 1 dan titik A didalam bejana berada pada ketinggian yang sama,  $P_A = P_1$ .

Manometer piezometer memiliki kekurangan yaitu alat ini hanya cocok digunakan jika tekanan didalam bejana lebih besar dari tekanan didalam bejana lebih besar dari pada tekanan atmosfer, dan tekanan yang akan diukur harus relatif kecil sehingga ketinggian kolom yang dibutuhkan cukup masuk akal. Kemudian fluida dalam bejana yang akan diukur harus zat cair bukannya gas (Munson, 2003).

## 2. Manometer Tabung –U

Kelebihan utama dari manometer tabung-U didasari kenyataan bahwa fluida pengukur dapat berbeda dari fluida didalam bejana dimana tekanan akan ditentukan. Tekanan aliran masuk dan keluar pada alat manometer air raksa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Fox dan Mc. Donald, 1995):

$$P = P_{udara} - (\gamma_{air} \cdot h_1) + \gamma_{raksa} \cdot h_2 \quad (19)$$



**Gambar 10.** Manometer Tabung-U

Dimana :  $h_1, h_2$ , = Ketinggian Manometer Air Raksa (m)  
 $\gamma_{raksa}$  = Berat Jenis Air Raksa ( $N/m^3$ )

## 3. Manometer Tabung Miring

Manometer ini digunakan untuk mengukur perubahan tekanan yang kecil, sejenis manometer yang ditunjukkan pada gambar 7 sering digunakan. Satu kaki manometer dimiringkan pada sudut  $\theta$ , dan  $l_2$  diukur sepanjang tabung miring. Perbedaan tekanan  $P_A - P_B$  dapat dinyatakan sebagai:

$$P_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 l_2 \sin \theta - \gamma_3 h_3 = P_B$$

Atau

$$P_A - P_B = \gamma_2 l_2 \sin \theta + \gamma_3 h_3 - \gamma_1 h_1 \quad (20)$$

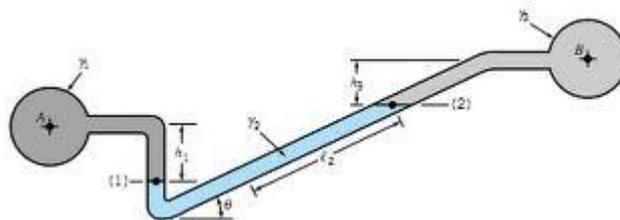
Dimana perlu dicatat bahwa perbedaan tekanan antar titik-titik tersebut, yang dapat dinyatakan sebagai  $l_2 \sin \theta$ . Jadi, untuk sudut yang relatif kecil, bacaan perbedaan sepanjang tabung miring dapat menjadi besar meskipun hanya ada perbedaan tekanan yang kecil. Manometer tabung miring sering digunakan untuk mengukur perbedaan-perbedaan kecil pada tekanan gas, sehingga pipa-pipa A dan B berisi gas, dan

$$P_A - P_B = \gamma_2 l_2 \sin \theta$$

Atau

(21)

$$L_2 = \frac{P_A - P_B}{\gamma_2 \sin \theta}$$



**Gambar 11.** Manometer Tabung Miring (Munson, 2003)

Dimana pengaruh dari kolom gas  $h_1$  dan  $h_3$  telah diabaikan. Persamaan menunjukkan bahwa  $l_2$  (untuk suatu perbedaan tekan yang diberikan) dari manometer tabung miring dapat ditingkatkan melebihi yang diperoleh dengan sebuah manometer tabung –U konvensional dengan faktor  $1/\sin \theta$  konvensional dengan faktor.