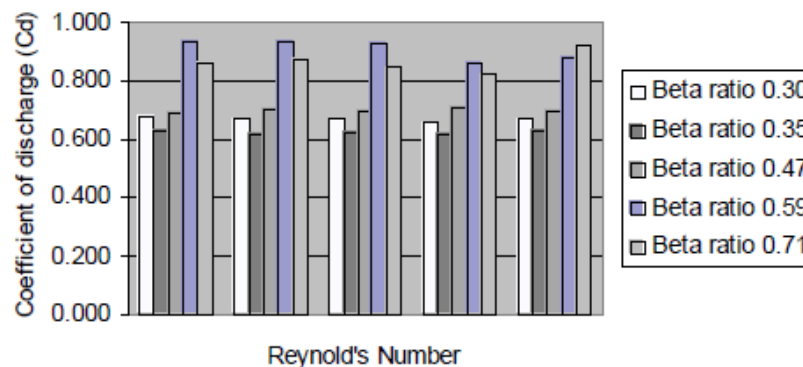


## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Rahman dkk (2009) melakukan penelitian mengenai efek rasio beta dan bilangan Reynolds terhadap koefisien *discharge* pada *orifice plate meter*. Plat orifis yang digunakan ada 5 buah berbahan besi cor dengan tebal plat 6mm dan rasio beta 0,30, 0,35, 0,47, 0,59, dan 0,71. Alat ukur tekanan pada plat orifis menggunakan manometer U yang dipasang pada jarak 10 cm dari *upstream* dan 8 cm dari *downstream*. Pada penelitian ini didapatkan grafik hubungan antara rasio beta dan bilangan reynolds dengan nilai penyimpangan koefisien *discharge* yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

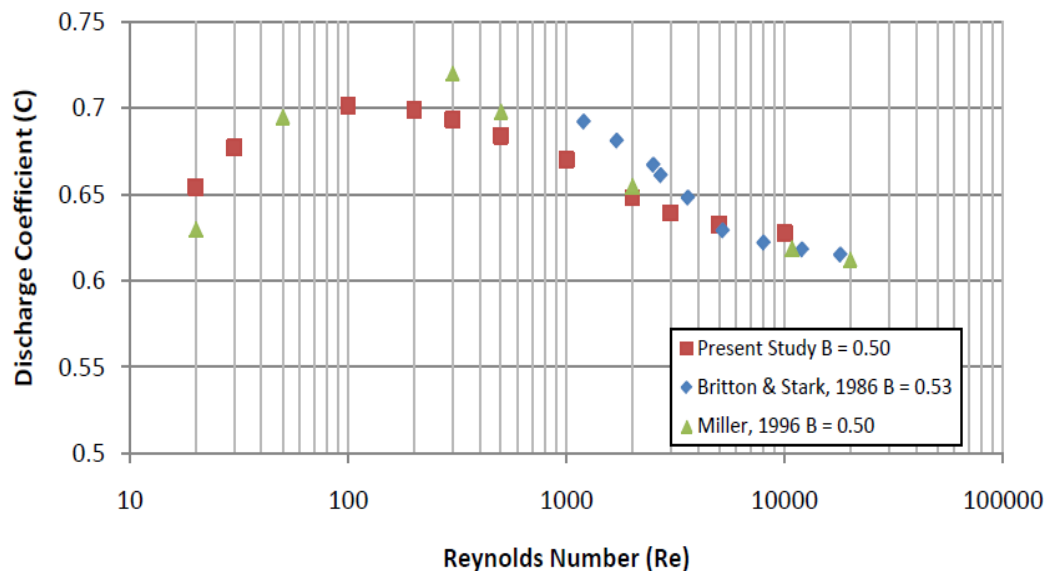


**Gambar 2.1** Hubungan antara rasio beta dan Re dengan  $\Delta C_d$  (Rahman dkk, 2009)

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa rasio beta 0,3, 0,35, dan 0,47 memiliki *coefficient of discharge* sekitar 0,6 – 0,7, sedangkan untuk plat orifis dengan rasio beta 0,56, dan 0,71 memiliki nilai deviasi koefisien *discharge* sekitar 0,9. Maka dari itu penggunaan plat orifis dengan rasio beta 0,59/0,71 lebih efektif untuk menghitung debit air pada saluran perpipaan.

Hollingshead dkk (2011) melakukan penelitian mengenai performa koefisien *discharge* venturi meter, orifis plat meter, V-cone, dan *wedge flow meter* pada bilangan Reynolds rendah. Penelitian ini menggunakan plat orifis dengan

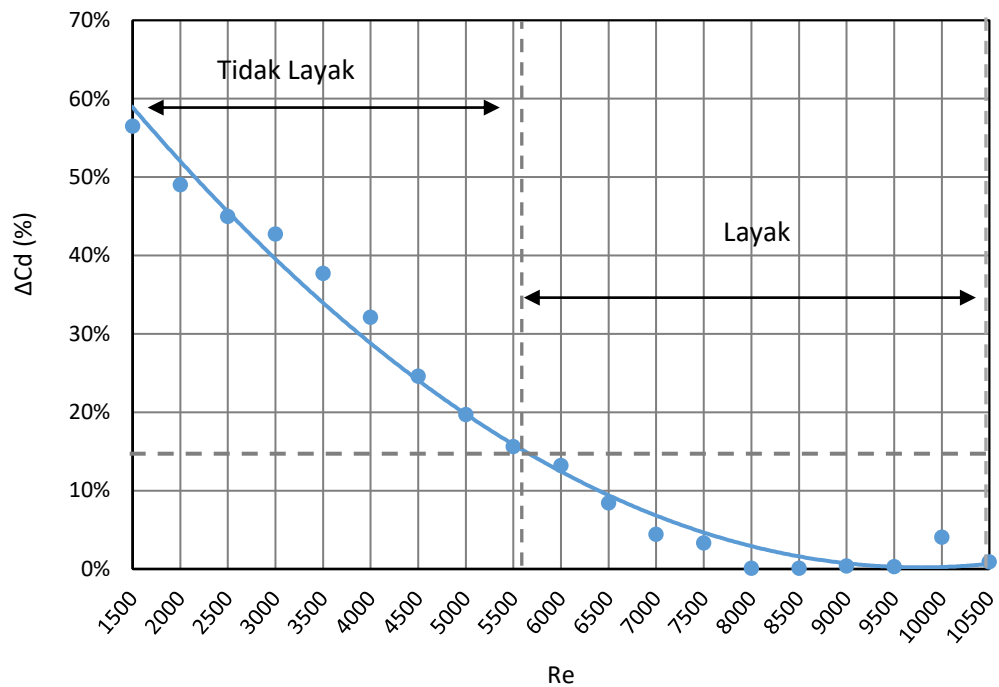
variasi nilai beta 0.50, 0.60, 0.65, dan 0.70. Gambar 2.2 menunjukkan hubungan antara koefisien *discharge* dengan bilangan Reynolds.



**Gambar 2.2** Hubungan antara koefisien *discharge* dengan bilangan Reynolds (Hollingshead dkk, 2011)

Gambar di atas menunjukkan bagaimana perbandingan hasil penelitian Hollingshead dkk (2011) dengan Britton dkk (1986) dan Miller (1996). Berdasarkan pada grafik di atas dapat dilihat bahwa terjadi kemiripan nilai koefisien *discharge* terhadap bilangan Reynolds pada penelitian Hollingshead dkk (2011) dengan penelitian lainnya. Perbedaan nilai koefisien *discharge* pada penelitian satu dengan yang lainnya hanya sebesar 4 %. Penelitian Hollingshead dkk (2011) menyimpulkan bahwa *orifice plate meter* memiliki koefisien *discharge* yang tidak konstan apabila nilai Re terlalu besar, akan tetapi plat *orifice* adalah *flow meter* yang paling banyak digunakan karena memiliki harga yang paling murah.

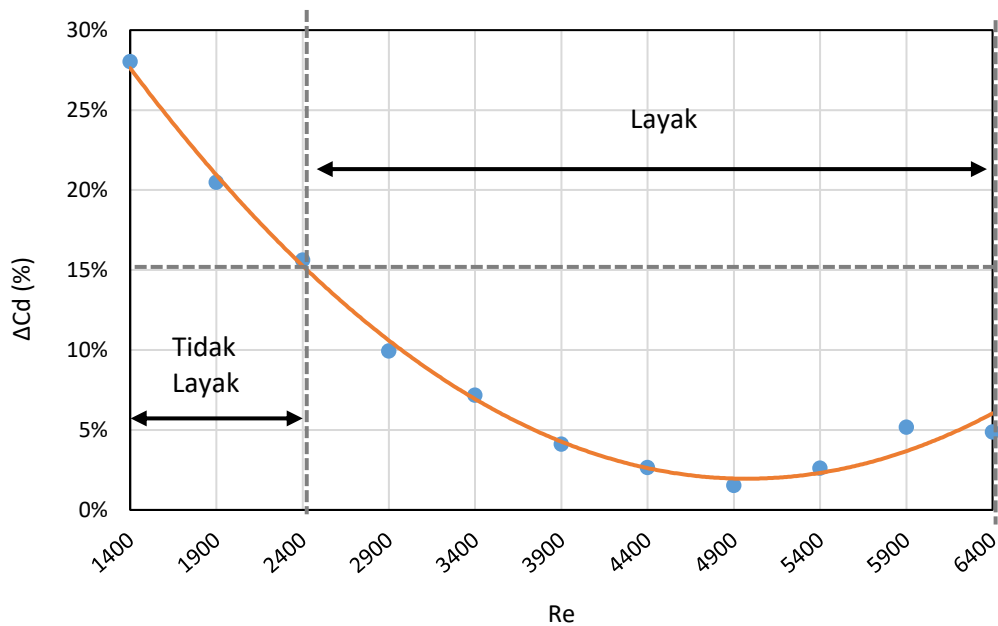
Pratama (2017) melakukan penelitian tentang *orifice plate meter* dengan rasio beta 0,4 dan variasi debit 11 LPM dengan kenaikan 0,5 LPM. Media penyalur fluida yang digunakan yaitu pipa PVC merk Wavin berdiameter 0,5 inch dan 0,75 inch. Pada penelitian ini plat orifis berbahan akrilik dengan tebal 3 mm. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan menghitung nilai beda tekanan fluida sebelum melewati flange dan setelah melewati flange. Grafik nilai penyimpangan koefisien *discharge* terhadap Re dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Hubungan antara  $\Delta C_d$  dengan Re (Pratama, 2017)

Grafik di atas diketahui nilai deviasi koefisien *discharge* tertinggi yaitu 56,5% pada bilangan Reynolds 1500. Nilai deviasi tersebut mengalami penurunan yang stabil sampai pada *Reynolds numbers* 8000, kemudian konstan sampai di bilangan Reynolds 9500. Nilai penyimpangan koefisien *discharge* terendah mencapai 0,08% pada angka Reynolds 8000.

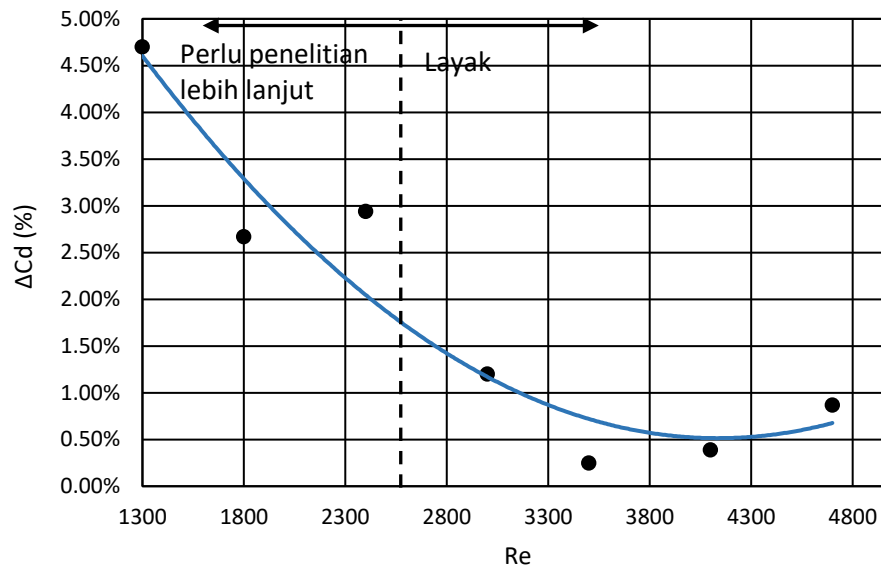
Penelitian tentang *orifice plate meter* juga dilakukan oleh Kurniawan (2017) dengan debit fluida 11 LPM. Media penyalur fluida yang digunakan yaitu pipa PVC merk Wavin yang memiliki diameter nominal 0,5 inch dan 0,75 inch. Plat orifice yang digunakan berbahan akrilik dengan tebal 3 mm. Pada penelitian ini dihitung nilai beda tekanan sisi masuk dan keluar plat orifis menggunakan rumus Bernoulli yang dimodifikasi yang kemudian dibandingkan dengan debit aktual yang terbaca pada rotameter. Pada pengujian ini didapatkan grafik hubungan antara nilai penyimpangan koefisien *discharge* dengan bilangan Reynolds yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Hubungan antara  $\Delta C_d$  dengan  $Re$  (Kurniawan, 2017)

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara nilai penyimpangan koefisien *discharge* dengan *Reynolds number*. Dari grafik diatas dapat diketahui nilai penyimpangan koefisien *discharge* tertinggi pada angka Reynolds 1400 yaitu sebesar 28,04%, sedangkan terendah yaitu sebesar 1,53% pada bilangan Reynolds 4900.

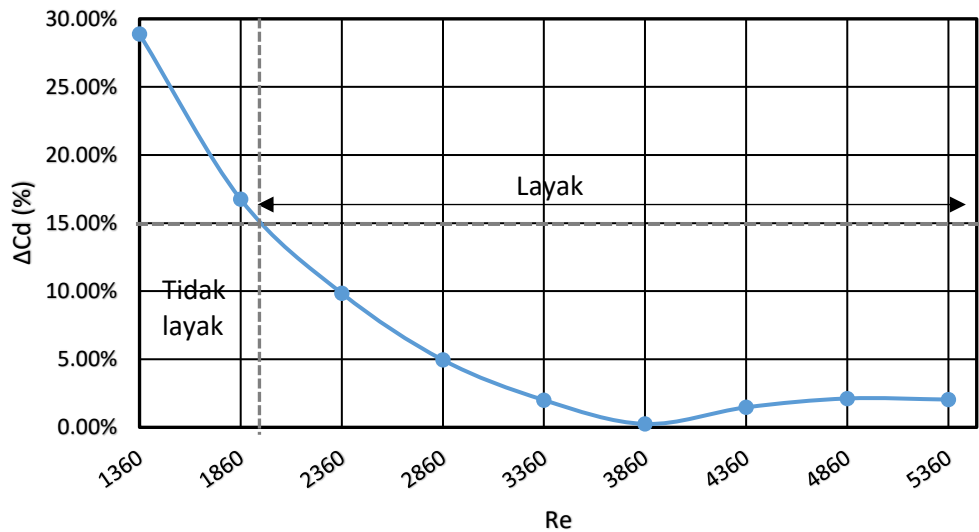
Saputra (2017) meneliti dan menguji *orifice plate meter* dengan debit 1-6 LPM dan kenaikan 0,5 LPM. Media untuk menyalurkan fluida menggunakan pipa PVC dengan diameter nominal 0,5 inch dan 0,75 inch. Plat orifice yang digunakan berbahan akrilik dengan tebal 3 mm dan rasio beta 0,16. Metode penelitian yang dilakukan dengan menghitung perbedaan tekanan sisi masuk dan sisi keluar orifis menggunakan rumus Bernoulli yang dimodifikasi. Grafik perbandingan antara nilai deviasi koefisien *discharge* dengan bilangan Reynolds dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Hubungan antara  $\Delta C_d$  dengan  $Re$  (Saputra, 2017)

Grafik di atas menunjukkan bahwa jika nilai koefisien *discharge* menurun maka bilangan Reynolds naik sampai angka tertentu, kemudian berfluktuasi secara stabil. Nilai penyimpangan *coefficient of discharge* tertinggi yaitu pada bilangan Reynolds 1300 sebesar 4,7% dan nilai terendah sebesar 0,25% pada bilangan Reynolds 3500. Dari grafik di atas menunjukkan batas layak penggunaan plat orifis dengan rasio beta 0,16 yaitu pada bilangan reynold  $\geq 2500$ .

Rosadi (2018) melakukan percobaan dan pengujian orifis sebagai alat ukur laju aliran fluida pada pipa PVC ukuran  $\frac{1}{2}$  inch dan  $\frac{3}{4}$  inch dengan rasio beta 0,19. Pada pengujian ini diukur tekanan sebelum dan sesudah melewati plat orifis. Metode pengambilan datanya yaitu dengan variasi debit air dari 1 LPM sampai 8 LPM dengan kenaikan 0,5 LPM. Dari penelitian Rosadi (2018) didapatkan nilai deviasi *coefficient of discharge* yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Hubungan  $\Delta C_d$  terhadap *Reynolds Numbers* (*Re*) (Rosadi, 2018)

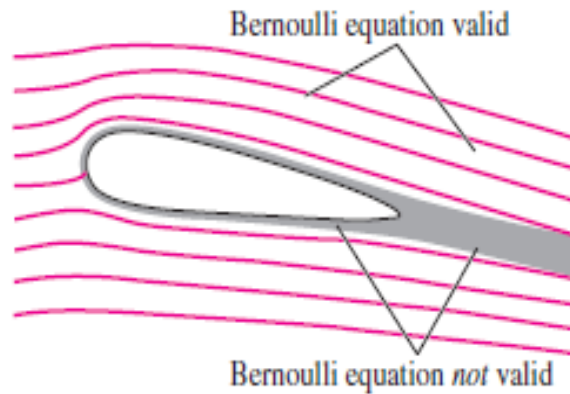
Gambar 2.6 di atas menunjukkan hubungan antara  $\Delta C_d$  dengan angka reynold. Nilai penyimpangan *coefficient of discharge* tertinggi terjadi pada  $Re = 1360$ , sedangkan nilai penyimpangan terendah terjadi pada  $Re = 3860$  sebesar 0,25 %. Nilai penyimpangan koefisien *discharge* pada penelitian ini mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya angka Reynolds, walaupun terjadi fluktuasi akan tetapi penurunannya tergolong stabil.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian dan pengujian mengenai *orifice plate meter* dengan rasio beta 0,19 pada pipa 1 dan ½ inch menggunakan alat ukur tekanan manometer U belum pernah dilakukan. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk memperkaya khazanah keilmuan di bidang mekanika fluida.

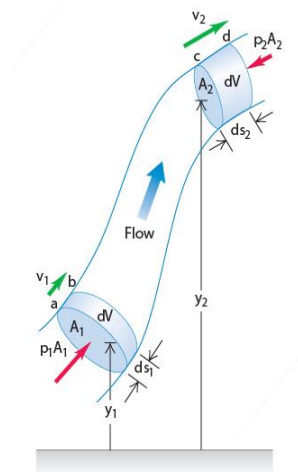
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Persamaan Bernoulli

Menurut Cengel (2006) persamaan Bernoulli adalah sebuah persamaan yang membahas tentang hubungan antara tekanan, kecepatan, dan elevasi. Persamaan Bernoulli berlaku pada aliran *steady*, fluida *incompressible*, dan asumsi nilai koefisien gesek diabaikan.



**Gambar 2.7** Area persamaan Bernoulli (Cengel, 2006)



**Gambar 2.8** Ilustrasi persamaan Bernoulli

Fluida yang mempunyai massa jenis  $\rho$  dialirkan dengan sebuah pipa yang penampangnya berbeda, gaya  $F_1$  menyebabkan tekanan  $P_1$  pada penampang  $A_1$  dan begitu pula sebaliknya, gaya  $F_2$  menyebabkan tekanan  $P_2$  pada penampang  $A_2$ . Gaya  $F_1$  memiliki usaha sebesar  $W_1 = F_1 \cdot s_1$  dan gaya  $F_2$  melakukan usaha  $W_2 = F_2 \cdot s_2$ . Tanda minus pada  $F_2$  artinya adalah gaya yang dilakukan ke arah kiri atau berlawanan dengan gaya  $F_1$ . Secara matematis usaha total dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{total}} &= W_1 + W_2 \dots\dots\dots(2.1) \\
 &= F_1 \cdot s_1 + (-F_2 \cdot s_2) \\
 &= P_1 \cdot A_1 \cdot s_1 - P_2 \cdot A_2 \cdot s_2
 \end{aligned}$$

$$= P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2$$

$$W_{\text{total}} = (P_1 - P_2) \frac{m}{\rho} \dots\dots\dots(2.2)$$

Besar  $W_{\text{total}}$  ini sesuai dengan perubahan energi mekanik ( $E_p + E_k$ ) yang terjadi saat fluida berpindah dari penampang 1 ke penampang 2.

$$W_{\text{total}} = E_m = \Delta E_p + \Delta E_k$$

$$= \left(\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2\right) + (m g h_2 - m g h_1)$$

$$= \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) + m g (h_2 - h_1)$$

$$W_{\text{total}} = m \left\{ \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) + g (h_2 - h_1) \right\} \dots\dots\dots(2.3)$$

Apabila persamaan 2.2 dan 2.3 digabungkan maka menjadi sebagai berikut.

$$(P_1 - P_2) \frac{m}{\rho} = m \left\{ \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) + g (h_2 - h_1) \right\}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (h_2 - h_1)$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{konstan}$$

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = H = \text{konstan} \dots\dots\dots(2.4)$$

Penggabungan persamaan di atas dikenal dengan persamaan Bernoulli, dengan  $\rho g h$  adalah energi potensial dari fluida per satuan volume, sedangkan  $\frac{1}{2} \rho v^2$  adalah energi kinetik suatu fluida.

## 2.2.2 Penerapan Persamaan Bernoulli dan Kontinuitas pada *Orifice Plate*

### *Meter*

Persamaan Bernoulli dan persamaan kontinuitas dapat diaplikasikan untuk menghitung laju aliran massa (Santosa, 2003). Persamaan kontinuitas untuk penampang *orifice* dan penampang pipa dapat dilihat pada persamaan 2.5.

$$\dot{m}_{wtr} = \rho_{wtr.1} \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_{wtr.2} \cdot A_2 \cdot v_2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

- $\dot{m}_{wtr}$  = laju aliran massa air (kg/s)
- $\rho_{wtr.1}$  = massa jenis air pada aliran pipa (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_{wtr.2}$  = massa jenis air pada aliran orifice (kg/m<sup>3</sup>)



$A_2$	= luas penampang orifice ( $m^2$ )
$A_1$	= luas penampang pipa ( $m^2$ )
$v_1$	= kecepatan alir fluida pada pipa (m/s)
$v_2$	= kecepatan alir fluida pada orifice (m/s)

Fluida yang masuk orifis merupakan jenis fluida tak mampat, maka persamaan 2.5 menjadi 2.6 dan 2.7.

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_{wtr} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} \cdot v_2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Aliran pada sistem ini diasumsikan mengalami proses adiabatik, tanpa gesekan, aliran tunak, fluida tak mampat, dan beda potensial diabaikan, maka digunakan persamaan Bernoulli seperti pada persamaan 2.8 dan 2.9.

$$\frac{P_1}{\rho_{wtr}} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_{wtr}} + \frac{v_2^2}{2} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho_{wtr}}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

$P_1 - P_2$  = Beda tekanan pada sisi masuk dan keluar orifice (Pa)

$\rho_{wtr}$  = massa jenis air ( $kg/m^3$ )

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.7) ke persamaan (2.9), maka menjadi persamaan 2.12.

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho_{wtr} \cdot v_2^2}{2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2.10)$$

$$v_2^2 = \frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho_{wtr} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$v_2 = \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Persamaan laju aliran volume ideal adalah :

$$\dot{V}_{ideal} = A_2 \cdot v_2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.12) ke persamaan (2.13), maka persamaan laju aliran volume ideal menjadi persamaan 2.14.

$$\dot{V}_{ideal} = A_2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Hubungan antara laju aliran volume air ideal dan aktual dapat ditulis seperti persamaan 2.15.

$$\dot{V}_{aktual} = C \cdot \dot{V}_{ideal} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan:

C = koefisien curah (*coefficient of discharge*)

$\dot{V}_{aktual}$  = ditentukan pada saat pembacaan rotameter air

Hubungan antara laju aliran volume air aktual dengan beda tekanan sisi masuk dan keluar orifice dilakukan dengan mensubstitusikan persamaan 2.14 ke persamaan 2.15 menjadi persamaan 2.16.

$$\dot{V}_{aktual} = C \cdot A_2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Bilangan Reynolds (Re) aliran dapat ditulis dengan persamaan 2.17.

$$Re = \frac{4 \cdot \rho_{wtr} \cdot \dot{V}_{aktual}}{\pi \cdot D_1 \cdot \mu_{wtr}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan  $D_1$  adalah diameter pipa (m).

Untuk menghitung laju aliran volume fluida harus ditentukan koefisien curah (C). Persamaan 2.16 dapat ditulis seperti persamaan 2.18.

$$\dot{V}_{aktual} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot \mu_{wtr}}{4 \cdot \rho_{wtr}} \cdot Re \dots\dots\dots (2.18)$$

Persamaan (2.18) disubstitusikan ke persamaan (2.16) menjadi persamaan 2.19.

$$\frac{\pi \cdot D_1 \cdot \mu_{wtr}}{4 \cdot \rho_{wtr}} \cdot Re = C \cdot A_2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}} \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Sehingga persamaan untuk mencari koefisien curah (C) menjadi persamaan 2.20.

$$C = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot \mu_{wtr}}{4 \cdot \rho_{wtr}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}{A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}}}} \cdot \frac{Re}{\sqrt{P_1 - P_2}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}{A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{wtr}}}} \dots\dots\dots(2.20)$$

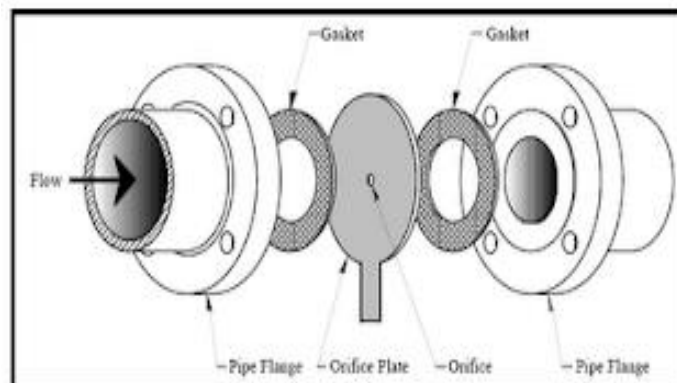
Untuk menghitung beda tekanan sisi masuk dan sisi keluar orifice menggunakan manometer dapat dihitung menggunakan persamaan 2.21.

$$P_1 - P_2 = \rho_{\text{air raksa}} \cdot g \cdot (H_1 - H_2) \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan :

- $P_1 - P_2$  = Perbedaan tekanan sisi masuk dan sisi keluar (Pa)
- $\rho_{\text{raksa}}$  = Massa jenis air raksa (13600 kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  = Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- $(H_1 - H_2)$  = Perbedaan elevasi air raksa sisi masuk dan keluar (m)

### 2.2.3 Orifice Plate Meter



**Gambar 2.9** Komponen *Orifice plate meter*

*Orifice plate meter* merupakan alat ukur laju aliran massa fluida yang menggunakan prinsip perbedaan tekanan. Perubahan kecepatan fluida yang melewati plat orifis berkaitan juga dengan perubahan tekanan. Perubahan tekanan ini kemudian diukur menggunakan manometer U untuk selanjutnya diasosiasikan dengan laju aliran.

#### a. Prinsip kerja *orifice plate meter*

Fluida yang mengalir didalam suatu saluran akan melewati lubang kecil orifis, hal itu akan menyebabkan terjadinya perbedaan kecepatan dan tekanan fluida. Setelah fluida melewati *orifice*, akan ada titik dimana terjadinya kecepatan

maksimum yang disebut dengan *vena contracta*. Dari titik *vena contracta* kemudian diukur perbedaan tekanan menggunakan manometer U atau *differential pressure gauge*.

b. Jenis - jenis *orifice plate*

*Orifice plate* memiliki beberapa jenis, yaitu :

1. *Concentric Orifice*

Merupakan orifice dengan lubang tepat ditengah lingkaran luar orifis dan memiliki kemiringan takik 45 derajat.

2. *Counter Bore Orifice*

Jenis ini hampir mirip dengan *concentric orifice*, namun tidak memiliki takik.

3. *Eccentric Orifice*

Jenis *orifice* ini memiliki takik seperti *concentric orifice*, namun posisi lubang yang tidak berada pada tengah.

4. *Quadrant Bore Orifice*

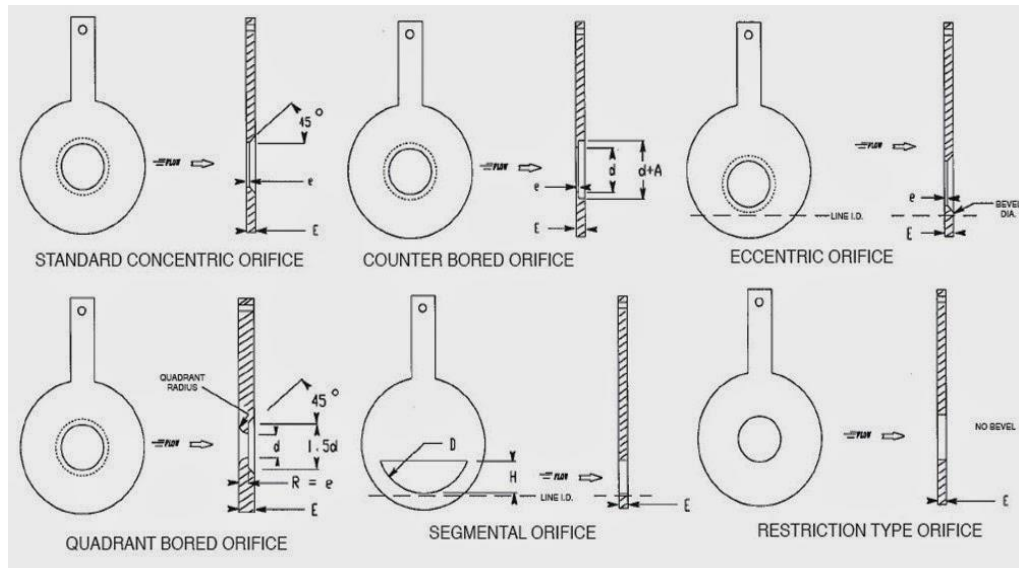
*Orifice* ini direkomendasikan untuk bilangan Reynolds dibawah 1000 dengan viskositas (kekentalan) yang tinggi.

5. *Segmental orifice*

*Orifice* ini memiliki lubang seperti huruf D dengan dirotasi 90<sup>0</sup> dan posisi lubang berada di bawah. Jenis ini biasanya digunakan untuk fluida dengan kandungan sedimen yang tinggi.

6. *Restriction type orifice*

Jenis ini biasanya digunakan pada fluida gas agar menghasilkan penurunan tekanan yang tinggi.



Gambar 2.10 Jenis – jenis orifice plate (Edoy, 2015).

**2.2.4 Headloss (rugi aliran)**

Headloss adalah hilangnya energi mekanik per satuan fluida yang disebabkan oleh beberapa hal antara lain, gesekan antara fluida dengan permukaan pipa, fitting, valve, dan beberapa komponen sistem perpipaan lainnya. Total kerugian (head) merupakan gabungan dari elevation head (tekanan karena ketinggian suatu fluida), velocity head, dan pressure head. Rugi aliran (head) dibedakan menjadi 2 jenis yaitu :

1. Headloss mayor

Headloss mayor merupakan kerugian aliran fluida yang disebabkan oleh gesekan fluida dengan permukaan dinding dalam pipa. Besar kecilnya gesekan ini tergantung dengan kekasaran permukaan pipa. Headloss mayor dapat dihitung menggunakan persamaan Darcy – Weisbach yang dapat dilihat pada persamaan 2.22.

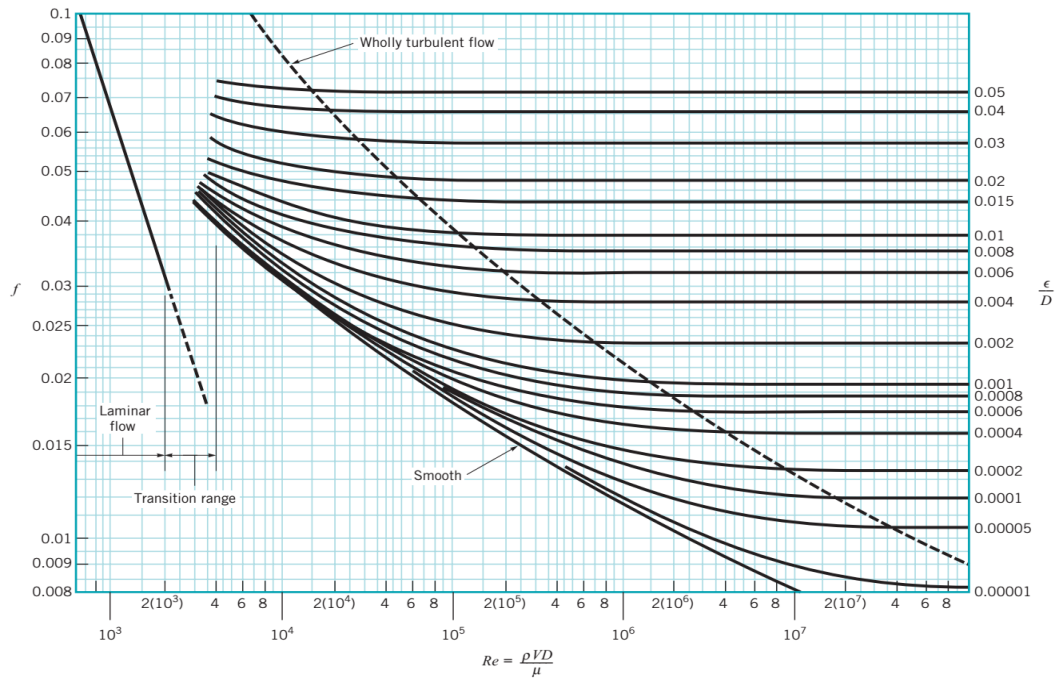
$$Hl = f \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2.g} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan :

- Hl = Head losses (m)
- f = Koefisien gesekan
- l = Panjang pipa (m)
- D = Diameter pipa (m)

- $v$  = Kecepatan aliran (m/s)
- $g$  = Percepatan grafitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)

Nilai koefisien gesek dapat dicari menggunakan diagram Moody.



**Gambar 2.11** Diagram Moody (Munson,2009)

## 2. Headloss minor

Merupakan kerugian aliran yang disebabkan oleh berbagai macam komponen sistem perpipaan seperti, valve, fitting, elbow, dan lain-lain. *Headloss* minor dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$Hl = n \cdot k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan :

- $Hl$  = Headloss minor (m)
- $n$  = Jumlah fitting/valve dengan diameter yang sama
- $k$  = Koefisien tahanan
- $v$  = Kecepatan aliran (m/s)
- $g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### 2.2.5 Rejim Aliran

Fluida memiliki 3 jenis aliran yaitu laminer, transisi, dan turbulen. Ketiga jenis aliran ini merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Osborne Reynolds pada tahun 1883. Apabila fluida mengalir melalui pipa dengan diameter ( $D$ ), dengan kecepatan rata-rata  $V$ , maka didapatkan bilangan Reynolds karena bilangan ini dipengaruhi oleh kecepatan fluida, viskositas, diameter, dan kerapatan.

Aliran disebut laminer apabila partikel fluida mengalir secara teratur sepanjang lintasan. Aliran laminer terjadi apabila kecepatan fluida kecil dengan kekentalan yang besar. Aliran dikatakan turbulen apabila partikel fluida bergerak secara tidak teratur dan saling bergesekan. Aliran ini terjadi apabila kekentalan kecil dengan kecepatan fluida yang besar. Bilangan Reynolds dapat dicari dengan persamaan 2.24.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan :

- Re = bilangan Reynolds
- $\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\mu$  = viskositas dinamik ( $\text{kg/m.s}$ )
- $v$  = kecepatan aliran dalam pipa ( $\text{m/s}$ )

Apabila *Reynolds number* dibawah 2000 ( $Re < 2000$ ) maka aliran disebut aliran laminer. Jika *Reynolds number* diatas 4000 ( $Re > 4000$ ) maka aliran dikatakan aliran turbulen. Suatu aliran yang memiliki bilangan Reynolds diantara 2000-4000 maka aliran dikatakan sebagai aliran transisi (Munson, 2009).

### 2.2.6 Coefficient of Discharge

*Coefficient of Discharge* ( $C_d$ ) merupakan perbandingan antara debit aktual dengan debit ideal (Sam, 2005). *Coefficient of discharge* adalah suatu fungsi dari bilangan Reynolds, dimana bilangan ini merupakan fungsi dari laju aliran yang dihitung menggunakan nilai  $C_d$ . Nilai  $C_d$  tidak selalu konstan, karena disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya kekasaran permukaan pipa, dan komponen –

komponen pipa seperti *elbow*, *valve*, sambungan, dan lain – lain. Nilai *coefficient of discharge* dapat dicari dengan persamaan 2.25.

$$Cd = \frac{\dot{V}_{aktual}}{\dot{V}_{ideal}} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} Cd &= \text{Coefficient of discharge} \\ \dot{V}_{aktual} &= \text{Debit hasil pengukuran (m}^3/\text{s)} \\ \dot{V}_{ideal} &= \text{Debit hasil perhitungan (m}^3/\text{s)} \end{aligned}$$

### 2.2.7 Aliran *Fully Developed*

*Fully developed flow* merupakan aliran di dalam suatu sistem perpipaan yang memiliki profil kecepatan konstan, tidak berubah terhadap perubahan jarak. Apabila kecepatan diukur pada suatu titik A, maka kecepatannya sebesar V, dan apabila kecepatan diukur pada titik B kecepatan juga akan tetap V. Sedangkan pada aliran yang belum berkembang penuh akan memiliki variasi kecepatan (White, 1998). Aliran *fully developed* dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini.

1. Pada kondisi aliran laminar.

$$\frac{l_l}{D} = 0,06 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\frac{l_l}{D} = 0,06 \cdot Re \dots\dots\dots (2.27)$$

2. Pada kondisi aliran turbulen.

$$\frac{l_l}{D} = 4,4 \cdot \left( \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \right)^{1/6} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\frac{l_l}{D} = 4,4 \cdot Re^{1/6} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} l_l &: \text{Entrance length (m)} \\ D &: \text{Diameter pipa (m)} \\ Re &: \text{Bilangan Reynolds} \end{aligned}$$

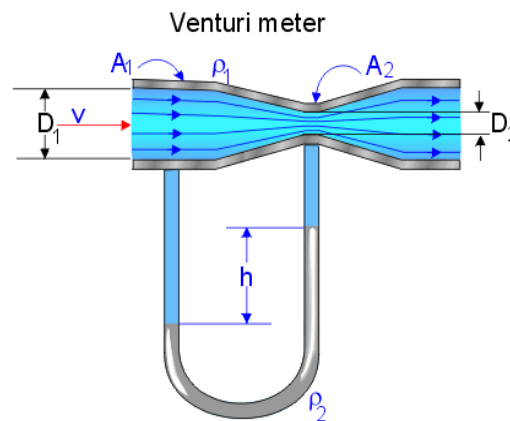
### 2.2.8 Jenis-Jenis Flowmeter dengan metode Obstruction Device

Selain *orifice plate meter* ada beberapa *flowmeter* yang menggunakan metode rintangan (*obstruction Device*) yaitu *venturi meter* dan *flow nozzle*. Semua



alat ukur ini menggunakan prinsip perbedaan tekanan yang selanjutnya diolah dan dihitung untuk mendapatkan nilai debit fluida yang mengalir. Berikut ini adalah deskripsi dari *venturi meter* dan *flow nozzle*:

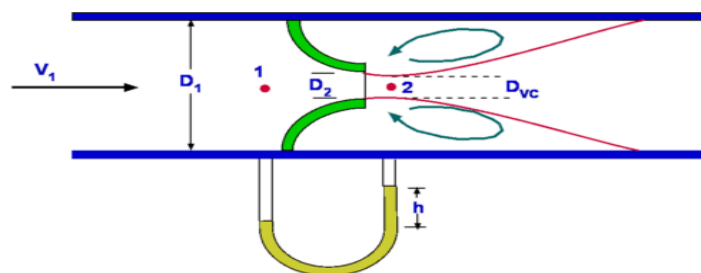
### 1. *Venturi meter*



**Gambar 2.12** Ilustrasi *venturi meter*

*Venturi meter* adalah alat ukur debit yang menggunakan metode rintangan. Alat ini berupa pipa yang penampangnya tengahnya lebih kecil dan diletakkan horizontal. Alat ukur tekanan diletakkan pada sisi penampang yang besar dan penampang yang kecil yang kemudian didapatkan nilai perbedaan tekanan.

### 2. *Flow nozzle*



**Gambar 2.13** Ilustrasi *flow nozzle*

*Flow nozzle* bisa juga disebut dengan setengah venturi. *Flow nozzle* memiliki beberapa kelebihan yaitu harganya lebih murah dari *venturi meter*, dan lebih tahan korosi dari pada *orifice plate meter*.

### 2.2.9 Jenis-Jenis *Pressure Taps* pada *Orifice*

Dikutip dari situs *Pippingguide.net*, *Pressure taps* ( lubang tekanan ) pada *orifice plate meter* diklasifikasikan berdasarkan lokasinya. Berikut ini adalah jenis-jenis *pressure taps*.

#### 1. *Corner Taps*

Tap ini terletak di hulu dan hilir flange persis di permukaan plat *orifice*. Tap jenis ini rentan terkena penyumbatan yang disebabkan oleh kotoran.

#### 2. *Radius Taps*

Menurut standar ISO 5167-2 :2003 *Pressure taps* pada jenis ini terletak 1D diameter pipa pada sisi *upstream* dan 1/2D pada sisi *downstream*. Tap jenis ini memiliki kelebihan pada keakuratan pengukuran karena sisi hilir terletak pada rata-rata *vena contracta*.

#### 3. *Pipe Taps*

Pada jenis ini lubang *pressure taps* terletak pada 2,5D sisi *upstream* dan 8D sisi *downstream*. Kedua tap dilokasikan pada daerah aliran *fully developed*.

#### 4. *Flange Taps*

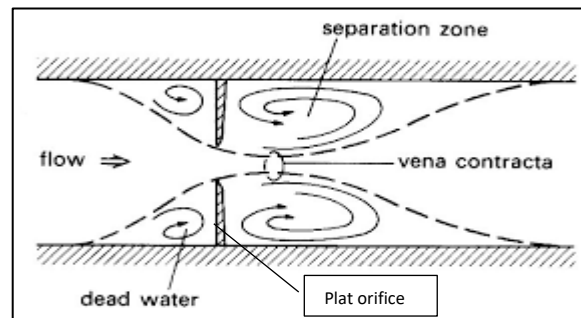
Lubang *pressure taps* jenis ini terletak 1 inch pada sisi *upstream* dan 1 inch pada sisi *downstream*. Tap jenis ini tidak direkomendasikan untuk ukuran pipa di bawah 2 inch karena tap sisi hilir terletak pada daerah tekanan yang tidak stabil.

#### 5. *Vena Contracta Taps*

Tap jenis ini terletak  $\frac{1}{2}$  - 2 D pada sisi *upstream* dan pada sisi *downstream* terletak pada daerah yang memiliki tekanan paling rendah (*vena contracta*). Secara teori tap jenis ini paling akurat untuk pengukuran tekanan, akan tetapi posisi *vena contracta* akan selalu berubah dengan perubahan laju aliran.

### 2.2.10 *Vena Contracta* dan Standar *Vena Contracta Taps*

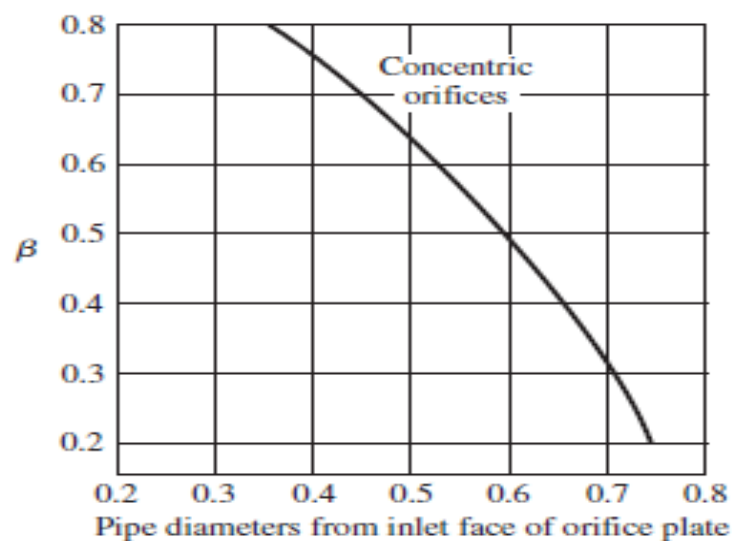
*Vena contracta* adalah titik didalam aliran fluida dimana diameter aliran fluida paling kecil dan kecepatan aliran fluida maksimum, seperti dalam kasus nozzle atau orifice (Evangilesta Torricelli, 1643). *Vena contracta* terjadi pada bagian *downstream* atau setelah melewati plat orifice.



**Gambar 2.14** Ilustrasi *vena contracta*

Peletakan lubang tekanan (*pressure taps*) pada *concentric orifice*, dengan *thin plate orifice* yang direkomendasikan oleh J.P. Holman dalam bukunya *Experimental Methods for Engineers* ada tiga standar yang digunakan, yaitu:

1. *Pressure taps* diletakkan pada *flange*
2. *Pressure taps* pada sisi *upstream* diletakkan satu kali diameter dalam pipa, sedangkan *pressure taps* pada sisi *downstream* diletakkan pada setengah diameter dalam pipa yang diukur dari permukaan *inlet* plat orifice.
3. *Pressure taps* sisi *upstream* diletakkan satu kali diameter dalam pipa, sedangkan pada sisi *downstream* diletakkan pada *vena contracta* yang dapat dilihat pada gambar 2.13.



**Gambar 2.15** Lokasi dari *pressure taps* orifice dengan *vena contracta taps* (J.P. Holman, 2012)

