

# Studi eksperimental *orifice flow meter* dengan variasi tebal dan posisi pengukuran beda tekanan aliran melintasi *orifice plate*

Wayan Nata Septiadi

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Pengujian *orifice flow meter* telah dilakukan dengan menggunakan plat orifis dan pipa berbahan akrilik. Plat orifis dibuat dengan memberikan sedikit bevel pada bagian sisi masuknya dengan rasio diameter ( $\beta$ ) = 0.5; 0.6; dan 0.7 dengan tebal plat orifis 10 mm dan 20 mm. Pengujian dilakukan dengan rentang kapasitas aliran yang memiliki bilangan Reynolds  $\pm 9333.33$  sampai  $\pm 28000$ . Pengujian dilakukan dengan mengalirkan air melintasi plat orifis. Kapasitas aktual dari *orifice flow meter* dapat diukur pada V-notch weir dan sight glass. Sedangkan untuk kapasitas teoritis dari *orifice flow meter* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli yang dimodifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prosentase irrecoverable pressure drop semakin turun jika kapasitas aliran semakin besar. Pada rasio diameter ( $\beta$ )= 0.7 tebal 10 mm irrecoverable pressure drop terhadap maximum pressure drop mencapai nilai yang cukup rendah yaitu (<40%) pada bilangan Reynolds  $\pm 13000$  sedangkan untuk *orifice flow meter* yang tebalnya 20 mm pada rasio diameter ( $\beta$ )= 0.7 irrecoverable pressure drop terhadap maximum pressure drop mencapai nilai yang cukup rendah yaitu (<40%) pada bilangan Reynolds  $\pm 15000$ . Cd (discharge coefficient) untuk *orifice flow meter* yang tebalnya 10 mm berkisar antara 1.17÷0.88 dan tebal 20 mm nilainya berkisar 1.048÷0.94 dengan nilai untuk rasio diameter 0.5 semua lebih besar dari. Nilai ini menyerupai nilai Cd nozzle namun trend atau fluktuasinya masih tetap seperti trend *orifice flow meter*. Sedangkan posisi pengukuran yang menghasilkan kapasitas teoritis yang paling mendekati kapasitas aktualnya adalah yang menggunakan posisi pengukuran D - 0.

Kata kunci: Pengukuran aliran, *orifice meter*, beda tekanan

## Abstract

Experimental study on *orifice flow meter* was conducted by using acrylic pipeline and *orifice plate*. *Orifice plate* was made with a bevel on entrance side; with diameter ratio 0.5, 0.6, and 0.7, respectively. The *orifice plate* thicknesses were 10 mm and 20 mm, respectively. The Reynolds number based on *orifice diameter* had range from  $\pm 9333.33$  until  $\pm 28000$ . During the experiment water was circulated in the system through *orifice flow meter*. Pressure distribution can be perceived at manometer and the actual capacity was measured by using V-Notch weir and sight glass. Pressure differential of the flow passed the *orifice plate* was measured at 5 different positions. The theoretical capacity was then determined by using the mass conservation and Bernoulli equations based on the measured pressure at various pressure tap position. The results showed that the irrecoverable pressure drop as percentage of maximum pressure drop decreased with increasing of diameter ratio and flow capacity. At diameter ratio 0.7 and 10 mm thickness, the irrecoverable pressure drop to maximum pressure drop that was relatively low (< 40%) at Reynolds number  $\pm 13000$ ; while the *orifice flow meter* with 20 mm *orifice plate* and diameter ratio 0.7, the irrecoverable pressure drop to maximum pressure drop that was lower than < 40% at Reynolds number  $\pm 15000$ . The maximum value of discharge coefficient (Cd) for the *orifice flow meter* with *orifice plate* thickness 10 mm was about 1.17 ÷ 0.88; and 1.048 ÷ 0.94 for that of 20 mm thickness. This value was similar to a nozzle flow meter Cd, while its fluctuation trend was still same with common *orifice flow meter*. The theoretical capacity based on D - 0 pressure tap position resulted in the closest value to the actual capacity.

Keywords: Flow measurement, *orifice meter*, pressure differential

## 1. Pendahuluan

*Orifice plate flow meter* merupakan salah satu *flowmeter* berbasis beda tekanan (*pressure differential*) yang sangat banyak digunakan karena desain dan cara pengukurannya yang sederhana. Penelitian-penelitian terbaru mengenai *orifice flow meter* telah dilakukan secara ekstensif untuk mengetahui perubahan *discharge coefficient* (Cd) akibat variasi dimensi geometris seperti rasio diameter, panjang pipa pada hulu aliran *orifice plate*, posisi *pressure tap* dan ketebalan *orifice plate*; maupun akibat gangguan aliran seperti kavitasi atau adanya *fitting* (belokan, perubahan penampang aliran). ISO 5167-1 mentabulasikan panjang pipa minimum yang dibutuhkan pada hulu aliran *orifice*

*plate* sesuai rasio diameter yang digunakan, sedangkan ketentuan jarak posisi *pressure tap* pada arah hulu dan hilir *orifice plate* dan ketebalan *orifice plate* tidak dijelaskan detail. Beberapa publikasi yang meneliti tentang pengaruh pemilihan posisi *pressure tap*, hanya menggunakan kombinasi jarak D-D/2 atau D-D untuk posisi *pressure tap* pada hulu dan hilir *orifice plate*. Itupun tidak disertai penjelasan detail tentang pengaruh pemilihan jarak tersebut terhadap hasil pengukurannya. Tebal *orifice* sangat mempengaruhi aliran yang melintasi plat *orifice* dan sejauh referensi yang diacu belum ada penelitian dengan variasi tebal *orifice plate*.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh tebal plat *orifice* terhadap distribusi tekanan sepanjang aliran, variasi nilai *discharge coefficient*, dan *non recoverable pressure drop* yang terjadi?
2. Bagaimana pengaruh posisi pengukuran beda tekanan terhadap distribusi tekanan sepanjang aliran, variasi nilai *discharge coefficient*, dan *non recoverable pressure drop* yang terjadi?

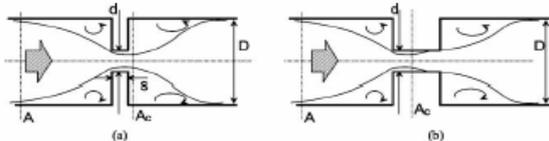
Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini dilakukan pada pipa akrilik berdiameter 16 mm dan *orifice plate* yang diperhalus pada sisi masuk (inlet)nya.
2. Rasio diameter *orifice* dengan diameter pipa ( $\beta$ ) adalah: 0.5 ; 0.6 ; 0.7.
3. Tebal plat *orifice* 10 mm dan 20 mm.
4. Fluida yang digunakan adalah air.
5. Bilangan Reynolds adalah  $\pm 9000$  sampai  $\pm 30000$ .

## 2. Dasar Teori

Ketebalan plat *orifice* sangat mempengaruhi pola aliran yang melaluinya yang pada akhirnya mempengaruhi hasil pengukuran. Jika aliran melalui *orifice* tipis maka aliran akan mengalami gangguan yang tak berarti atau *vena contracta* yang terbentuk tidak begitu berarti. Namun apabila aliran melewati plat *orifice* yang tebal maka akan terbentuk suatu *vena contracta* yang lebih besar pada arah depan aliran setelah melewati bagian depan plat *orifice* [1].

Prediksi aliran melewati plat *orifice* tipis dan tebal ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



**Gambar 1. Profil aliran melewati plat *orifice* tipis dan tebal**

Jika aliran mengalir horizontal (dengan demikian perbedaan elevasi tidak ada atau diabaikan) dan abaikan *losses* aliran yang terjadi; persamaan Bernoulli menjadi:

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

$P$  = Tekanan (Pa)

$\rho$  = Densitas ( $\text{Kg/m}^3$ )

$v$  = Kecepatan aliran (m/s)

Untuk aliran vertikal ketinggian atau elevasi  $h_1$  dan  $h_2$  harus dimasukkan dalam persamaan (1) di atas.

Asumsikan profil kecepatan aliran seragam pada sisi hulu dan hilir; maka persamaan kontinuitas berlaku sebagai berikut:

$$q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (2)$$

$q$  = Laju alir volume atau kapasitas ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

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

Dengan mengkombinasikan (1) dan (2),  $A_2 < A_1$ , menghasilkan persamaan 'ideal':

$$q = A_2 \left[ \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left( 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)} \right]^{1/2} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \quad (3)$$

Untuk geometri tertentu ( $A$ ), laju aliran dapat ditentukan dengan mengukur perbedaan tekanan  $P_1 - P_2$ . Laju alir teoritis  $q$  dalam aplikasi praktis akan menjadi lebih kecil antara 2% - 40% akibat kondisi geometrinya. Persamaan ideal (3) dapat dimodifikasi dengan menambahkan *discharge coefficient*, menjadi:

$$q = C_d A_2 \left[ \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left( 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)} \right]^{1/2} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \quad (4)$$

$C_d$  = *Discharge coefficient*

*Discharge coefficient*  $C_d$  merupakan fungsi ukuran jet atau bukaan *orifice*.

Berdasarkan persamaan Bernoulli dan kontinuitas, kecepatan fluida akan mencapai nilai tertinggi dan tekanannya terendah pada *vena contracta*. Setelah melewati peralatan pengukur dan *vena contracta* akan terjadi penurunan kecepatan sampai pada level sebelum melewati penghalang. *Vena contracta* adalah luasan minimum yang terjadi pada bagian terdapan hilir aliran setelah penghalangan oleh *orifice*. Tekanan akan kembali naik namun lebih rendah dari tekanan sebelum melewati penghalang. Keadaan ini menambah head loss yang terjadi dalam aliran.

Persamaan (4) dapat dimodifikasi terhadap diameternya menjadi:

$$q = C_d \frac{\pi D_2^2}{4} \left[ \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)} \right]^{1/2} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \quad (5)$$

$D_2$  = Diameter dalam *orifice* (m)

$D_1$  = Diameter pipa hulu dan hilir (m)

$\beta$  = Rasio diameter  $D_2 / D_1$

$\pi = 3.14$

Persamaan (5) dapat dimodifikasi ke laju alir massa fluida dengan mengalikannya dengan densitas fluida.

$$m = C_d \frac{\pi D_2^2}{4} \rho \left[ \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)} \right]^{1/2} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) \quad (6)$$

Dalam pengukuran aliran gas, perlu diperhitungkan tidak hanya penurunan tekanan yang terjadi, tapi juga perubahan densitasnya. Persamaan di atas dapat digunakan untuk aplikasi dimana perubahan tekanan dan densitasnya relatif kecil.

Adanya *vena contracta* saat melintasi *orifice plate*, maka persamaan  $Q_{orifice}$  menjadi:

$$Q_{orifice} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho\Delta P} \left( \frac{Kg}{s} \right) \quad (7)$$

*Orifice meter* terdiri dari plat *orifice* datar dengan lubang sirkular (lingkaran). Dua lubang tekanan dibuat masing-masing satu pada hulu dan hilir aliran. Secara umum ada 3 metode penempatan lubang tekanan (tap). *Coefficient of discharge* pengukuran tergantung pada posisi tap.

Salah satu cara membandingkan keakuratan alat ukur aliran berbasis pada tekanan adalah dengan membandingkan kapasitas aliran aktual terhadap kapasitas aliran teoritisnya. Rasio antara kapasitas aliran aktual terhadap kapasitas aliran teoritis disebut *coefficient of discharge (Cd)*:

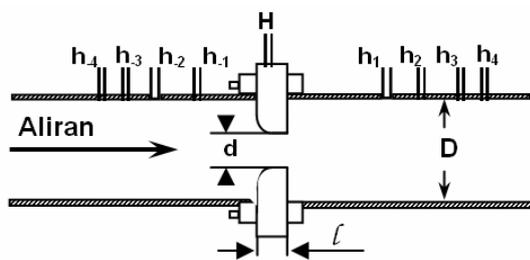
$$Cd = \frac{\text{Kapasitas aktual}}{\text{Kapasitas teoritis}} = \frac{Q_{actual}}{Q_{theoretical}} \quad (8)$$

### 3. Metode Penelitian

Penelitian dan pengujian *orifice meter* ini mempergunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

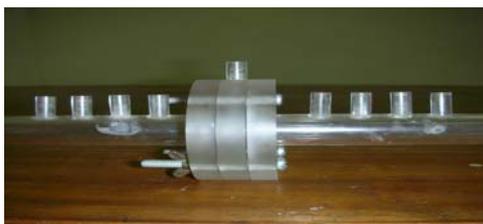
1. Tandon air (penyuplai aliran air yang diukur)
2. Pipa penghantar aliran (jalur pipa dari tandon ke *test section*)
3. *Test section* (penempatan *orifice*)
4. Manometer untuk mengukur beda tekanan
5. *V-notch weir* untuk mengukur debit air secara langsung
6. *Sight glass* (mengukur kapasitas aliran dengan menampung secara langsung)
7. *Stop watch* (mencatat waktu selama pengukuran debit air pada *sight glass*).

Gambar 2 dan 3 berturut-turut menunjukkan bagian uji *orifice plate* secara skematik dan gambar aktualnya. Sedangkan Gambar 4 menunjukkan peralatan pengujian secara lengkap.

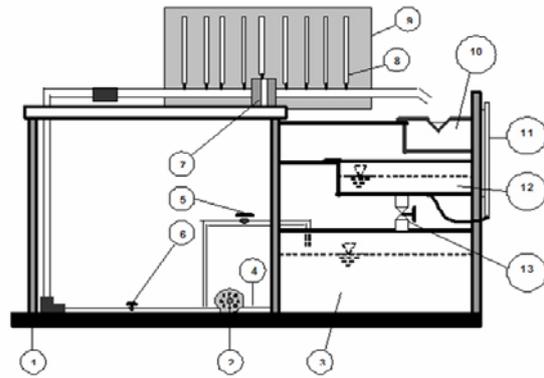


$\beta$  = Rasio diameter =  $d/D$   
 $l$  = tebal plat orifice

Gambar 2. Detail *orifice plate*



Gambar 3. *Orifice plate flow meter*



(a) Skematik



(b) Foto peralatan

Gambar 4. *Set Up* eksperimental *orifice flowmeter*

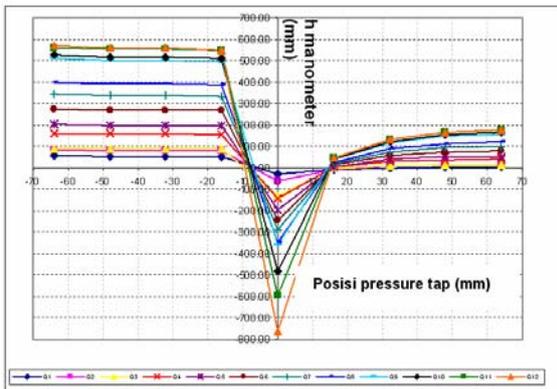
Keterangan:

1. Meja atau kerangka penopang peralatan
2. Pompa
3. Bak air utama
4. Pipa hisap pompa (*suction line*)
5. Katup pada pipa *by pass* (*by pass line*)
6. Katup pada pipa alir (*discharge line*)
7. *Plat orifice*
8. Tap untuk pengukuran tekanan (*pressure tap*)
9. Papan manometer (*manometer board*)
10. *V-notch weir*
11. *Sight glass*
12. Bak penampung air dari *V-notch weir*
13. Katup buang untuk pengamatan *sight glass*

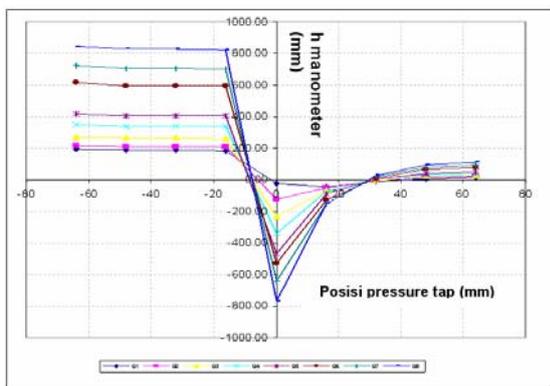
### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1. Distribusi tekanan sepanjang *orifice flow meter* dengan tebal plat orifis 10 mm

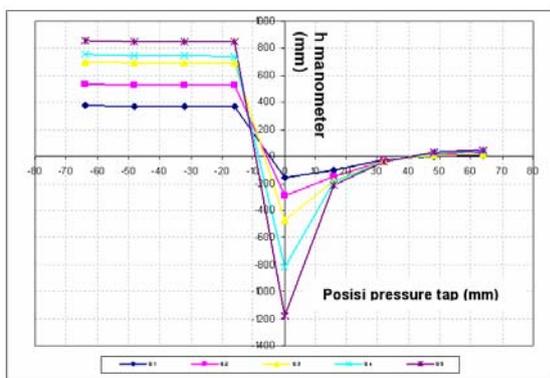
Dari hasil pengujian maka didapatkan distribusi tekanan sepanjang *orifice flow meter* 10 mm dengan rasio diameter ( $\beta$ ) 0.7; 0.6; 0.5 seperti pada grafik-grafik di bawah ini.



Gambar 5. Grafik distribusi tekanan melintasi orifice flow meter dengan rasio diameter 0.7 dan tebal plat orifis 10 mm



Gambar 6. Grafik distribusi tekanan melintasi orifice flow meter dengan rasio diameter 0.6 dan tebal plat orifis 10 mm

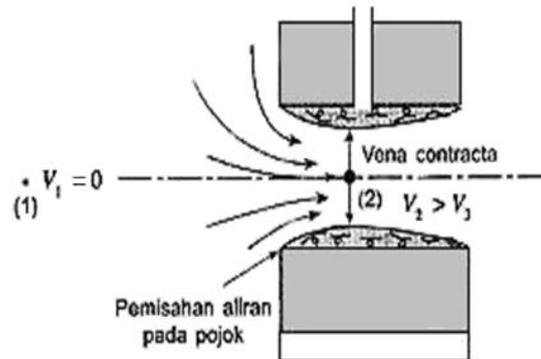


Gambar 7. Grafik distribusi tekanan melintasi orifice flow meter dengan rasio diameter 0.5 dan tebal plat orifice 10 mm

Pada grafik di atas di hulu orifice plate antara pressure tap yang paling jauh (4D) dengan orifice plate sampai yang paling dekat (D) dengan orifice plate tekanannya mengalami sedikit penurunan hal ini dikarenakan aliran bergerak menuju orifice plate dimana terjadi vena contracta. Sesuai persamaan Bernoulli tekanan semakin menurun dan sebaliknya kecepatannya meningkat.

Pada bagian plat orifice terjadi drop atau penurunan tekanan karena ketika fluida (air) memasuki plat orifice terjadi pemisahan aliran (separasi) mulai dari pojok sisi masuk atau terjadi vena contracta pada plat orifice, kecepatan

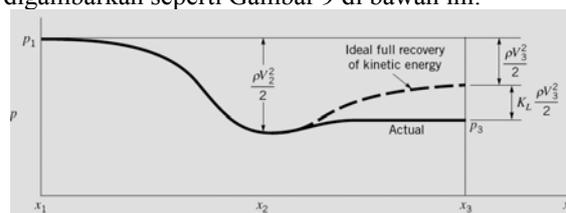
maksimum terjadi pada bagian plat orifice sehingga tekanan di bagian tersebut menjadi sangat rendah. Hal ini dapat dilihat pada grafik distribusi tekanan di atas, dimana tekanan pada plat orifice ditunjukkan pada sumbu X = 0. Fenomena aliran melintasi vena contracta diperlihatkan dalam Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Keadaan aliran pada plat orifis dengan tebal 10 mm

Kemudian pada sisi hilir daripada orifice plate akan terjadi pemulihan tekanan secara berangsur pada setiap titik. Namun pemulihan tekanan tidak bisa sebesar tekanan awal yang disebut dengan irrecoverable pressure drop. Hal ini karena sebagian energi telah berubah menjadi energi kinetik, namun dalam pemulihan tekanan ini tidak juga berlaku secara ideal, yakni secara ideal  $P_3 = \rho V_3^2/2$  sehingga h yang terbaca pada manometer secara ideal adalah  $h_4 = \rho V_3^2/2\rho g$  namun secara aktual nilainya masih lebih kecil.

Adapun perbedaan irrecoverable pressure drop yang terukur dengan yang seharusnya terukur secara teoritis disebabkan peningkatan energi kinetik pada bagian plat orifice sebagian hilang lagi karena disipasi viskos pada tepi bagian keluaran orifice plate secara pola distribusi tekanan dapat digambarkan seperti Gambar 9 di bawah ini.



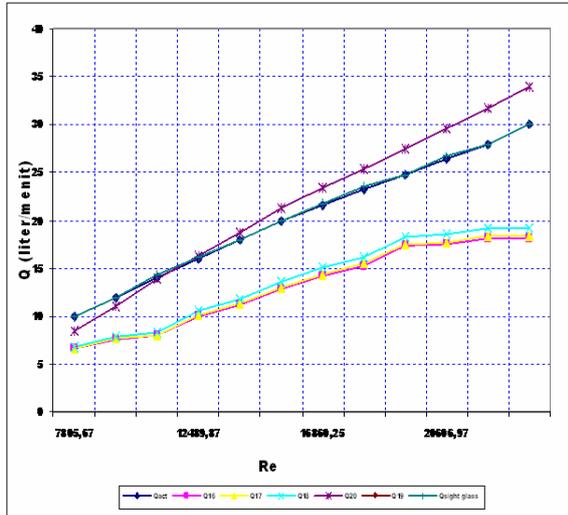
Gambar 9. Pola distribusi tekanan pada irrecoverable pressure drop ideal dan aktual

Selanjutnya perhitungan dilakukan untuk mendapatkan nilai pressure drop, dan selanjutnya kapasitas aliran teoritis yang dihitung berdasar nilai pressure drop tersebut. Pressure drop dihitung dengan beberapa kombinasi posisi pressure tap di bagian hulu dan hilir plat orifis.

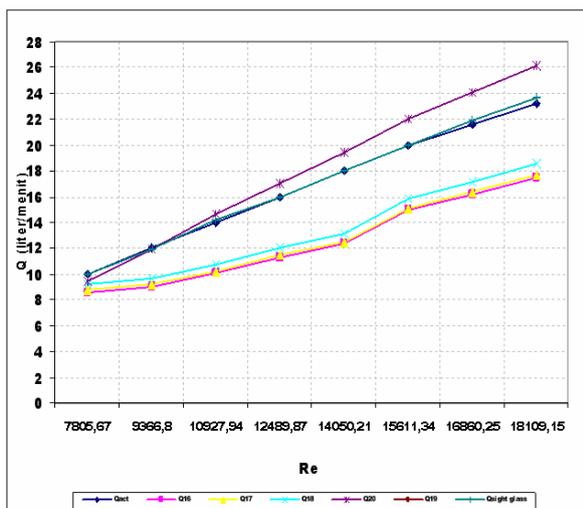
Pressure drop dapat diukur atau dicari menggunakan rumus tekanan statis dengan h = beda ketinggian fluida manometer sesuai posisi tap yang diukur; sedangkan nilai kapasitas teoritis dihitung berdasarkan rumus (7). Kemudian berdasarkan kapasitas aktual pada V-notch weir dan diameter pipa

( $D = 16 \text{ mm}$ ) maka dapat dihitung kecepatan air keluar dari pipa hilir sehingga dapat dicari Reynolds number untuk tiap kapasitas aktualnya.

Berdasarkan kapasitas teoritis, aktual, dan *sight glass* dapat diplotkan grafik-grafik seperti di bawah ini.



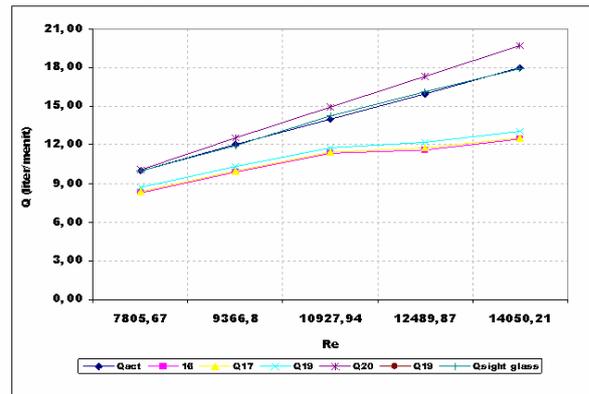
Gambar 10. Grafik perbandingan  $Q_{\text{aktual}}$  dengan  $Q_{\text{teoritis}}$  dan  $Q_{\text{sightglass}}$  pada beberapa posisi pengukuran  $\Delta P$  orifis rasio diameter 0.7 dan tebal 10 mm



Gambar 11. Grafik perbandingan  $Q_{\text{aktual}}$  dengan  $Q_{\text{teoritis}}$  dan  $Q_{\text{sightglass}}$  pada beberapa posisi pengukuran  $\Delta P$  orifis rasio diameter 0.6 dan tebal 10 mm

Dari grafik perbandingan  $Q_{\text{aktual}}$  dengan  $Q_{\text{teoritis}}$  serta  $Q_{\text{sightglass}}$  pada Gambar 10, 11, dan 12 dapat dilihat bahwa  $Q_{\text{teoritis}}$  yang menggunakan letak *pressure tap* pada plat *orifice* nilainya dengan  $Q_{\text{aktual}}$  tidak terlalu jauh menyimpang, sedangkan yang menggunakan letak *pressure tap* pada hilir *orifice plate* nilainya masih agak jauh dengan nilai  $Q_{\text{aktual}}$  atau dapat dikatakan bahwa pengukuran beda tekanan dengan menggunakan *pressure tap* pada hulu dan *pressure tap* yang tepat pada plat orifis

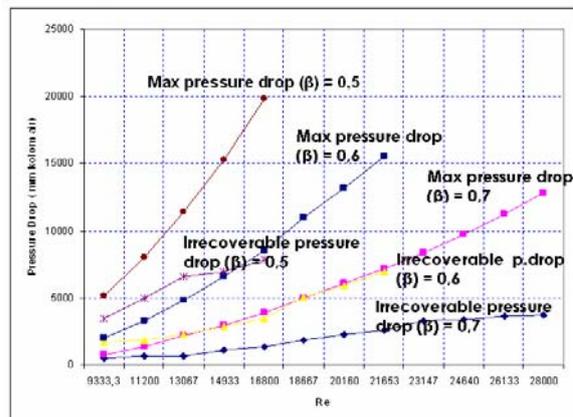
pada *orifice flow meter* dengan rasio diameter ( $\beta$ ) 0.7; 0.6; 0.5 dengan tebal 10 mm keakurasiannya mendekati kapasitas aktualnya



Gambar 12. Grafik perbandingan  $Q_{\text{aktual}}$  dengan  $Q_{\text{teoritis}}$  dan  $Q_{\text{sightglass}}$  pada beberapa posisi pengukuran  $\Delta P$  orifis rasio diameter 0.5 dan tebal 10 mm

#### 4.2. Pressure drop dan irrecoverable pressure drop orifice flow meter dengan tebal orifice plate 10 mm

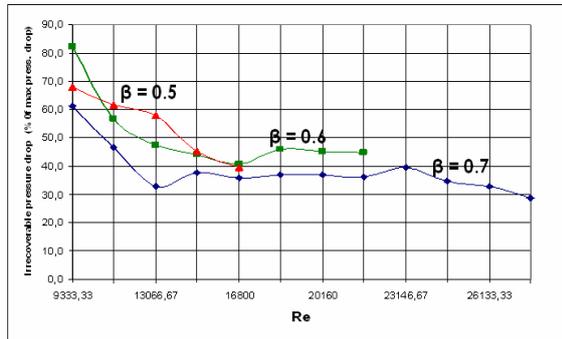
Berdasarkan grafik distribusi tekanan melintasi *orifice flow meter* dengan rasio diameter ( $\beta$ ) 0.7; 0.6; 0.5 dan tebal plat *orifice* 10 mm (Gambar 5; 6; 7), dapat digambarkan penurunan tekanan maksimum atau *maximum pressure drop* yang terjadi serta *irrecoverable pressure*-nya. Adapun grafiknya adalah seperti Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Grafik *maximum pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop orifice flow meter* dengan tebal *orifice plate* 10 mm

Dari grafik *irrecoverable pressure drop* secara prosentase *irrecoverable pressure drop* dari *orifice flow meter* dengan rasio ( $\beta$ ) 0.7 dan tebal 10 mm bernilai  $36.97\% \div 62,65\%$ ; yang rasio ( $\beta$ ) 0.6 bernilai  $41,37\% \div 82,7\%$  sedangkan yang rasio ( $\beta$ ) 0.5 bernilai  $39,95\% \div 68,2\%$  dari *maximum pressure drop*. Dalam hal ini dari grafik juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi kapasitas aliran yang diukur dengan menggunakan *orifice flow meter* maka kerugian kerugian energi aliran juga semakin besar.

Sedangkan secara prosentase terhadap *maximum pressure drop*, *irrecoverable pressure drop* cenderung konstan pada *Re* yang tinggi seperti ditunjukkan Gambar 14 di bawah ini.

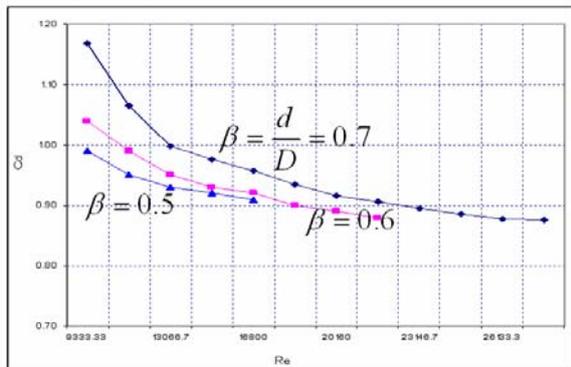


**Gambar 14. Grafik prosentase irrecoverable pressure drop terhadap maximum pressure drop orifice plate 10 mm**

**4.3. Coefficient of discharge orifice flow meter dengan tebal orifice plate 10 mm**

Dari nilai  $Q_{actual}$  dan  $Q_{theoretical}$  yang menggunakan letak pengukuran beda tekanan antara *pressure tap* pada hulu dan pada plat *orifice* maka nilai  $C_d$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8).

Dari hasil perhitungan nilai  $C_d$  dapat diplotkan dalam grafik pada Gambar 15 di bawah ini.

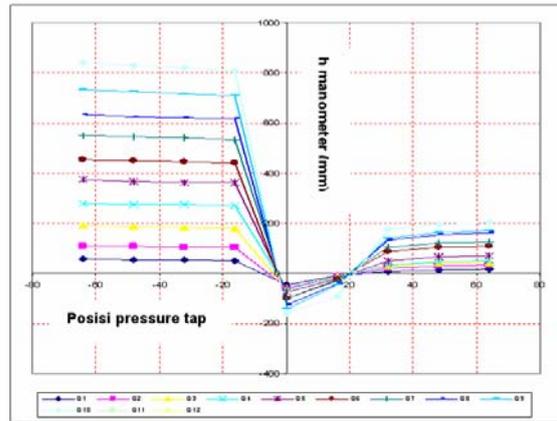


**Gambar 15. Grafik discharge coefficient orifice flow meter tebal 10 mm**

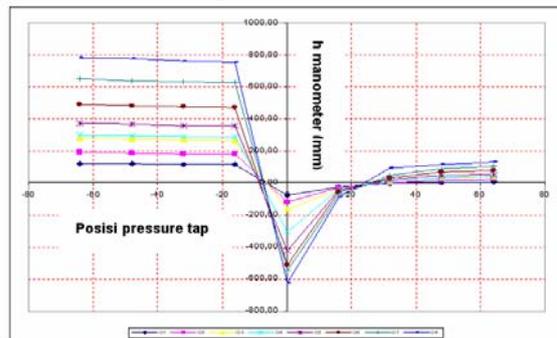
*Coefficient discharge (Cd)* untuk pengujian teoritis ditunjukkan oleh Gambar 15 di atas. Tampak bahwa nilai  $C_d$  pada masing-masing rasio berfluktuasi pada Reynolds 9333.33 sampai 14933.33 setelah itu nilai  $C_d$  mulai mendekati konstan. Nilai  $C_d$  disini berkisar antara 0.88 sampai 1.17 hal ini dikarenakan pada bagian inlet plat *orifice* diberi sedikit bulatan atau diperhalus sisi masuknya sehingga menyebabkan koefisien kerugian aliran yang seharusnya 0.5 pada *orifice* sisi tajam menjadi 0.3 sampai 0.2, namun walaupun  $C_d$  dari *orifice* ini ada yang lebih dari 1 namun fluktuasi *orifice flow meter* ini tetap masih mengikuti tren dari  $C_d$  *orifice* pada umumnya yakni semakin besar bilangan Reynolds maka  $C_d$  dari *orifice flow meter* semakin turun atau kecil sedangkan pada *nozzle flow meter* umumnya terbalik [7].

**4.4. Distribusi tekanan sepanjang orifice flow meter dengan tebal plat orifis 20 mm**

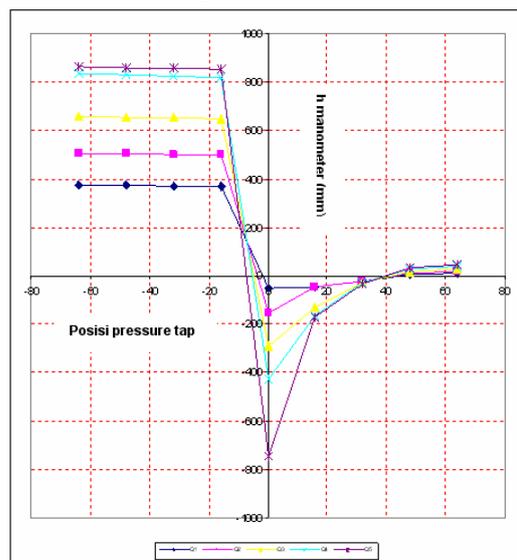
Dengan menggunakan cara yang sama sebagaimana pada bagian sebelumnya, distribusi tekanan untuk *orifice flow meter* yang menggunakan plat orifis 20 mm dapat diplotkan pada Gambar 16, 17, dan 18 berikut ini.



**Gambar 16. Grafik distribusi tekanan melintasi orifice flow meter dengan rasio diameter 0.7 dan tebal plat orifis 20 mm**



**Gambar 17. Grafik distribusi tekanan melintasi orifice flow meter dengan rasio diameter 0.6 dan tebal plat orifis 20 mm**



**Gambar 18. Grafik distribusi tekanan melintasi orifice flow meter dengan rasio diameter 0.5 dan tebal plat orifis 20 mm**

Pada grafik di atas di hulu terjadi peristiwa yang sama dengan pada pengujian *orifice* 10 mm. Tekanan yang terbaca pada *orifice* antara *pressure tap* yang paling jauh (4D) dengan *orifice plate* sampai yang paling dekat (D) dengan *orifice plate* tekanannya mengalami sedikit penurunan hal ini dikarenakan oleh aliran bergerak menuju *orifice plate* dimana terjadi *vena contracta*. Sesuai persamaan Bernoulli tekanan semakin menurun dan sebaliknya kecepatannya meningkat.

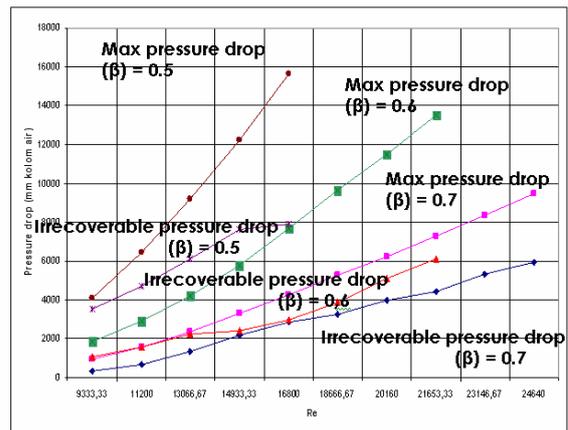
Pada bagian plat *orifice* terjadi *drop* atau penurunan tekanan karena ketika fluida (air) memasuki plat *orifice* terjadi pemisahan aliran (*separasi*) mulai dari pojok sisi masuk atau terjadi *vena contracta* pada plat *orifice*, kecepatan maksimum terjadi pada bagian plat *orifice* sehingga tekanan di bagian tersebut menjadi sangat rendah. Namun *drop* tekanan yang terjadi pada bagian plat *orifice* dengan tebal 10 mm ini lebih kecil jika dibandingkan dengan pengukuran pada *orifice plate* 20 mm yakni tekanan yang terbaca pada manometer *orifice plate* 10 mm yang paling rendah mencapai -760 mm untuk rasio 0.7; -766 mm untuk rasio 0.6 dan -1177 mm untuk rasio 0.5 sedangkan yang terbaca pada manometer pada *orifice plate* 20 mm yang paling rendah adalah -157 mm untuk rasio 0.7, -625 mm untuk rasio 0.6 dan -744 mm untuk rasio 0.5. Sehingga dalam hal ini ketebalan dari plat *orifice* yang semakin besar mengurangi *pressure drop* yang terjadi.

Kemudian pada sisi hilir daripada *orifice plate* akan terjadi pemulihan tekanan secara berangsur pada setiap titik. Namun pemulihan tekanan tidak bisa sebesar tekanan awal yang disebut dengan *irrecoverable pressure drop*. Hal ini karena sebagian energi telah berubah menjadi energi kinetik, sama halnya dengan yang terjadi pada *orifice* tebal 10 mm.

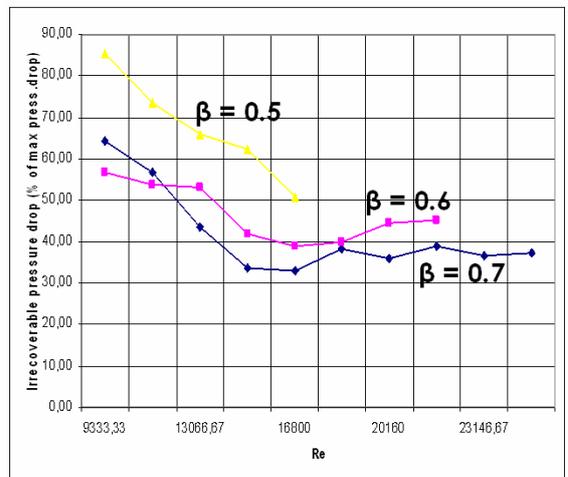
#### 4.5. Pressure drop dan irrecoverable pressure drop orifice flow meter dengan tebal orifice plate 20 mm

Berdasarkan grafik distribusi tekanan melintasi *orifice flow meter* dengan rasio ( $\beta$ ) 0.7 dan tebal plat orifis 20 mm selanjutnya dapat digambarkan penurunan tekanan maksimum atau *maximum pressure drop* yang terjadi serta *irrecoverable pressure drop* pada *orifice flow meter* dengan rasio diameter ( $\beta$ ) 0.7; 0.6; 0.5 dan tebal 20 mm, seperti ditunjukkan Gambar 19, dan 20 di bawah ini. Tren yang ditunjukkan menyerupai *orifice plate* 10 mm.

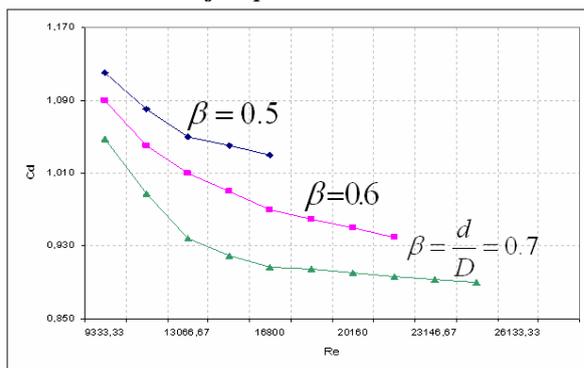
*Coefficient discharge* ( $C_d$ ) untuk pengujian teoritis ditunjukkan oleh Gambar 21. Nilai  $C_d$  *orifice flow meter* dengan tebal 20 mm untuk rasio diameter 0.5 nilainya semua  $>1$  sedangkan untuk rasio diameter 0.6 dan 0.7 ada yang  $<1$  dan  $>1$ . Fluktuasi  $C_d$  yang besar tetap berada pada nilai Reynolds yang kecil dan pada nilai Reynolds yang besar fluktuasi mulai mendekati konstan.



Gambar 19. Grafik maximum pressure drop dan irrecoverable pressure drop orifice flow meter dengan tebal orifice plate 20 mm



Gambar 20. Grafik prosentase irrecoverable pressure drop terhadap maximum pressure drop orifice plate 20 mm



Gambar 21. Grafik discharge coefficient orifice flow meter tebal 20 mm

Grafik  $C_d$  untuk *orifice flow meter* 20 mm terdapat perbedaan dalam tingkatan letak rasio ( $\beta$ )-nya yakni pada *orifice flow meter* 10 mm rasio paling kecil ( $\beta=0.5$ ) berada paling bawah pada grafik sedangkan untuk *orifice flow meter* 20 mm rasio yang paling kecil ( $\beta=0.5$ ) berada paling atas pada grafik.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai *orifice flow meter* dengan tebal plat *orifice* 10 mm dan 20 mm serta rasio diameter ( $\beta$ ) = 0.7; 0.6; dan 0.5 dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. *Maximum pressure drop* tertinggi *orifice flow meter* baik *orifice* yang tebalnya 10 mm maupun 20 mm terjadi pada  $\beta = 0.5$  diikuti  $\beta = 0.6$  dan  $\beta = 0.7$
2. Prosentase *irrecoverable pressure drop* baik *orifice flow meter* tebal 10 mm atau *orifice flow meter* tebal 20 mm terhadap *maximum pressure drop* menurun jika rasio diameter ( $\beta$ ) semakin besar. Untuk semua nilai  $\beta$ , prosentase *irrecoverable pressure drop* terhadap *maximum pressure drop* semakin turun jika kapasitas aliran semakin besar, kemudian cenderung konstan pada Re tinggi
3. *Maximum pressure drop* pada *orifice flow meter* tebal 20 mm lebih kecil dibandingkan tebal 10 mm, akan tetapi prosentase *irrecoverable pressure drop*-nya  $\pm$  sama. Pada *orifice flow meter* tebal 10 mm dengan rasio diameter ( $\beta$ ) = 0.7 prosentase *irrecoverable pressure drop* terhadap *maximum pressure drop* mencapai nilai yang cukup rendah (< 40 %) pada bilangan Re rendah (Re =  $\pm$  13000). Sedangkan *orifice flow meter* tebal 20 mm dengan rasio diameter ( $\beta$ ) = 0.7 prosentase *irrecoverable pressure drop* terhadap *maximum pressure drop* mencapai nilai yang cukup rendah (< 40 %) pada bilangan Re rendah (Re =  $\pm$  15000)
4. Pada *orifice flow meter* tebal 10 mm ataupun 20 mm untuk semua nilai  $\beta$  besarnya *irrecoverable* tidak dapat sesuai dengan teoritisnya atau *irrecoverable pressure drop* yang terukur besarnya berbeda (lebih rendah) dari yang seharusnya terjadi hal ini dikarenakan pada sisi keluaran dari *orifice plate* terjadi *disipasi viskos*.
5. Perhitungan kapasitas teoritis pada semua *orifice plate* baik tebal 10 mm dan 20 mm yang menggunakan beda tekanan ( $\Delta P$ ) pada posisi  $D - 0$  ( $h_1 - H$ ) atau beda tekanan antara titik hulu sejauh  $D$  dan titik pada plat *orifice* menghasilkan kapasitas teoritis yang paling mendekati kapasitas aktual yang terukur
6. Nilai  $C_d$  (*coefficient discharge*) untuk *orifice flow meter* dengan tebal 10 mm nilainya berkisar  $1.17 \div 0.88$  dimana lebih menyerupai nilai  $C_d$  *nozzle* namun kecenderungannya (tren)-nya tetap sama dengan *orifice flow meter* pada umumnya yaitu semakin tinggi bilangan Reynolds maka nilai  $C_d$  semakin kecil
7. Nilai  $C_d$  (*coefficient discharge*) untuk *orifice flow meter* dengan tebal 20 mm nilainya berkisar  $1.048 \div 0.94$  dimana untuk ( $\beta$ ) = 0.5 nilai  $C_d$  semuanya  $> 1$
8. Kapasitas teoritis, *pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* serta  $C_d$  dari *orifice flow meter* tidak hanya dipengaruhi oleh

letak posisi pengukuran beda tekanan tetapi juga dipengaruhi oleh tebal plat *orifice*, keadaan sisi masuk plat *orifice* dan rasio diameter dari plat *orifice* ( $\beta$ ).

## Daftar Pustaka

- [1] Fossa, M, Guglielmini, G., 2002, *Pressure drop and void fraction profiles during horizontal flow through thin and thick orifice*, Experimental Thermal and Fluid Science, 26, pp. 513-523.
- [2] Fox, Robert W, McDonald, 1994, *Introduction to Fluid Mechanics*, New York: John Wiley & Sons, INC.
- [3] Gerg Umer, 1997, *Technical Note: Pressure loss of orifice plates according to ISO 516-71*, Flow Meas. Instrum, Vol. 8 No. 1, pp 39-41.
- [4] Krassow, H, Campabadal, F, Lora-Tamayo, F., 1998, *The Smart Orifice Meter; a Mini Head Meter for Volume Flow Measurement*, Flow Measurement and Instrumentation, 10, pp. 109-115.
- [5] Morrison, G.L, Hauglie, J, De Otte, Jr, R.E., 1995, *Beta ratio, axisymmetric flow distortion and swirl effects upon orifice flow meter*, Flow Meas. Instrum., Vol. 6, No. 3, pp. 207-216.
- [6] Munson. Bruce R, Young. Donald F, Okiishi. Theodore, 2003, *Mekanika Fluida, Edisi Keempat, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- [7] Munson. Bruce R, Young. Donald F, Okiishi, Theodore, 2003, *Mekanika Fluida, Edisi Keempat, Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- [8] Ramamurti, K, Nandakumar, K., 1999, *Characteristics of flow through small sharp edged cylindrical orifice*, Flow Measurement and Instrumentation, 10, pp. 133-143.
- [9] Streeter. Victor L, Benjamin Wylie, E, 1995, *Mekanika Fluida, Edisi delapan, Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- [10] Zimmermann, H., 1999, *Examination of disturbed pipe flow and its effects on flow measurement using orifice plates*, Flow Measurement and Instrumentation, 10, pp. 223- 240.
- [11] \_\_\_\_\_, 2006, *Orifice, Nozzle and Venturi Flow Rate Meters*, www.EngineeringToolBox.com