

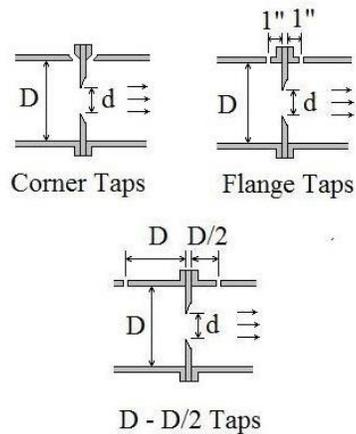
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Flow Meter*

Flow meter merupakan alat ukur laju aliran fluida di dalam pipa. *Flow meter* terdiri dari dua bagian utama: *primary device* dan *secondary device* (Miller, 1996). *Primary device* merupakan alat yang terpasang langsung pada aliran fluida sebagai pendeteksi sinyal aliran. Contoh *primary device* adalah *pressure tap*, pipa, pengkondisian aliran *Venturi* dan *Orifice*. *Secondary device* adalah pendeteksi sinyal yang terbaca untuk memproses sinyal tersebut. Pemrosesan sinyal menghasilkan *output* berupa nilai yang ditampilkan pada suatu *display* atau respon terhadap aktuator untuk merubah nilai aliran fluida. Contoh dari *secondary device* adalah (*valve, tubing, differential-pressure transmitter*).

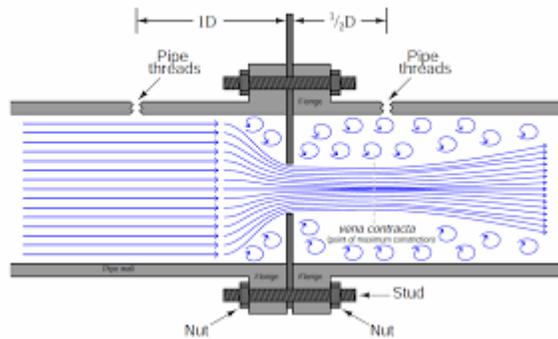
2.1.1. *Differential Pressure Flow Meter*

Differential pressure merupakan salah satu metode mengukur laju aliran fluida. *Differential pressure flow meter* sering digunakan dalam industri. Prinsip dasarnya adalah dengan mengukur perbedaan tekanan yang terjadi pada daerah *upstream* (aliran yang akan masuk) dan *downstream* (aliran yang akan keluar). Daerah *upstream* merupakan daerah ketika aliran fluida belum memasuki alat pengkondisian aliran, sedangkan daerah *downstream* merupakan daerah sesudah aliran fluida memasuki alat pengkondisian aliran. Pengukuran tekanan dengan menggunakan *pressure tap* yang dipasang pada daerah *upstream* dan *downstream* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Posisi *Pressure tap* ISO 5167

Menurut ISO 5167, 2003 *Pressure tap* diletakkan pada jarak D and $D/2$ seperti terlihat pada gambar 2.2. Pada metode *tapping* ini, pengukur tekanan di sisi *upstream* diletakkan sejauh 1 kali diameter pipa (D) dan di sisi *downstream* sejauh $1/2$ kali diameter pipa (D). Penempatan seperti ini karena *pressure tap* di sisi *downstream* berada di posisi rata-rata di mana *vena contracta* terbentuk. Sedangkan pada sisi *upstream*, *pressure tap* berada cukup jauh dari distorsi aliran yang mungkin bisa terjadi saat fluida mulai masuk ke *orifice*. Pada praktiknya, *pressure taps* pada sisi *upstream* jaraknya bisa 2 kali diameter pipa (D) tanpa mempengaruhi hasil pengukuran.



Gambar 2.2 Posisi *pressure tap* pada *orifice flow meter* (Dahmani, 2017)

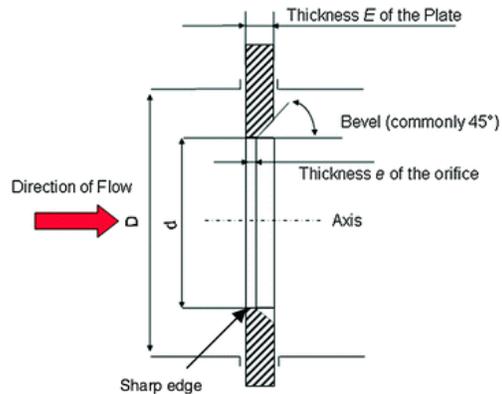
2.1.2. Plat *Orifice*

Pada penjelasan diatas dikatakan bahwa aliran sengaja dikondisikan untuk memiliki perbedaan tekanan dengan menggunakan *flow meter*, salah satunya adalah plat *orifice*. 80% dari industri proses menggunakan plat *orifice* sebagai *flow meter* (Miller, 1996). Pada saat fluida mengalir melewati *orifice* penurunan tekanan akan terjadi. Penurunan tekanan tersebut akan dikembalikan seperti semula pada jarak tertentu di lokasi *downstream*, namun fluida yang sudah mengalir melewati *orifice* tidak akan kembali secara seluruhnya. Penurunan tekanan yang tidak dapat dipulihkan disebut *irrecoverable pressure drop* atau *permanent pressure drop* yang terjadi pada pipa *downstream*.

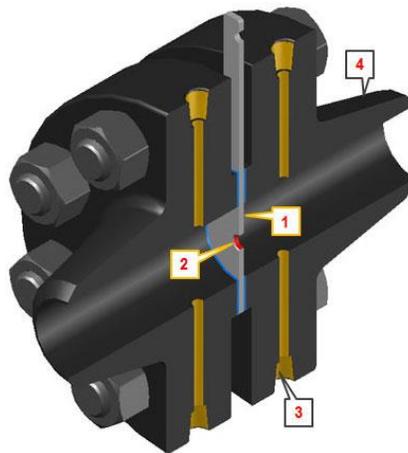
Plat *orifice* memiliki bentuk lingkaran tipis yang ditengahnya terdapat lubang kecil dan dilengkapi dengan bagian pemegang. Geometri dari plat *orifice* sudah memiliki standar menurut pada ISO 5167-2 yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. Konstruksi plat *orifice* dipasang diantara dua *flange* bersama *sealing* agar tidak terjadi kebocoran. Detil konstruksi dari *orifice* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Mengacu pada standart ISO 5167-2 terdapat beberapa hal yang sudah ditentukan dan ditetapkan untuk parameter-parameter geometri pada plat *orifice*:

- 1 merupakan sisi *upstream*.
- 2 merupakan sisi *downstream*.
- Ketebalan e berkisar antara $0,005D$ sampai $0,02D$.
- Ketebalan E berkisar untuk e sampai $0,5D$, tetapi dalam range $50 \text{ mm} \leq D \leq 64 \text{ mm}$ ketebalan E dapat mencapai $3,2 \text{ mm}$.
- Sudut *bevel* a pada plat *orifice* memiliki nilai sudut antara $45^\circ \pm 15^\circ$.
- *Orifice* diameter rasio $\beta = d/D$. d adalah diameter inner plat *orifice* dan D merupakan diameter inner pipa yang harus memiliki nilai lebih besar dari 0.1 dan lebih kecil atau sama dengan $0,75$.

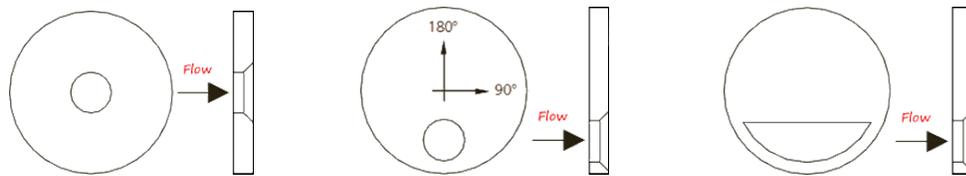


Gambar 2.3 Geometri pelat *orifice* sesuai standar *International Organization for Standardization (ISO, 2003)*



Gambar 2.4 Konstruksi *orifice*: **1. Orifice plate** **2. Hole in plate** **3. Tappings** **4. Orifice flange** (Wermac, 2008)

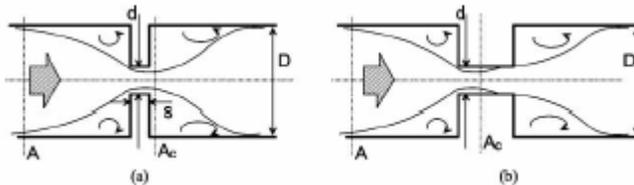
Gambar 2.4 menjelaskan bagian-bagian konstruksi dari *orifice*. Selain standard ISO 5167-2(2003), plat *orifice* memiliki banyak bentuk pada pengaplikasiannya. Contoh dari variasi bentuk plat *orifice* terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Concentric orifice, eccentric orifice, dan segmental orifice* (Miller, 1996)

2.2. Karakteristik aliran melewati *Orifice* tebal dan tipis.

Ketebalan plat *orifice* sangat mempengaruhi pola aliran yang melaluinya yang pada akhirnya mempengaruhi hasil pengukuran. Jika aliran melalui *orifice* dengan ketebalan yang 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*. Prediksi aliran melewati plat *orifice* tipis dan tebal ditunjukkan dalam Gambar 2.6 di bawah ini.



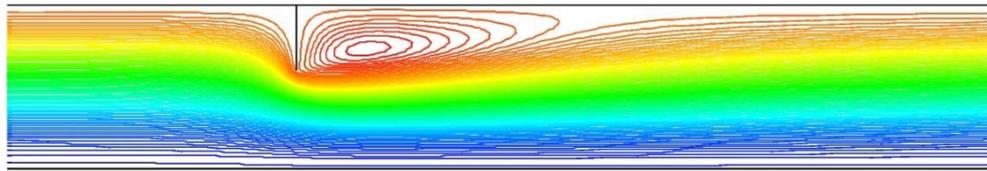
Gambar 2.6. Profil aliran melewati plat *orifice* tipis dan tebal (Septiadi, 2008).

2.2.1. Karakteristik Aliran pada Plat *Orifice* dan *Vena Contracta*

Tujuan dari plat *orifice* adalah untuk merubah tekanan aliran yang mengalir pada pipa dengan sengaja. Ketika fluida memasuki lubang plat *orifice*, aliran fluida dipaksakan untuk melewati luas penampang yang kecil. Sesaat aliran fluida masuk ke lubang *orifice*, tekanan aliran mulai menurun dan kecepatan aliran mulai bertambah.

Ketika melewati lubang *orifice*, terjadi pemisahan (separasi) aliran yang menyebabkan *vortex* pada daerah *downstream* terdorong ke belakang plat.

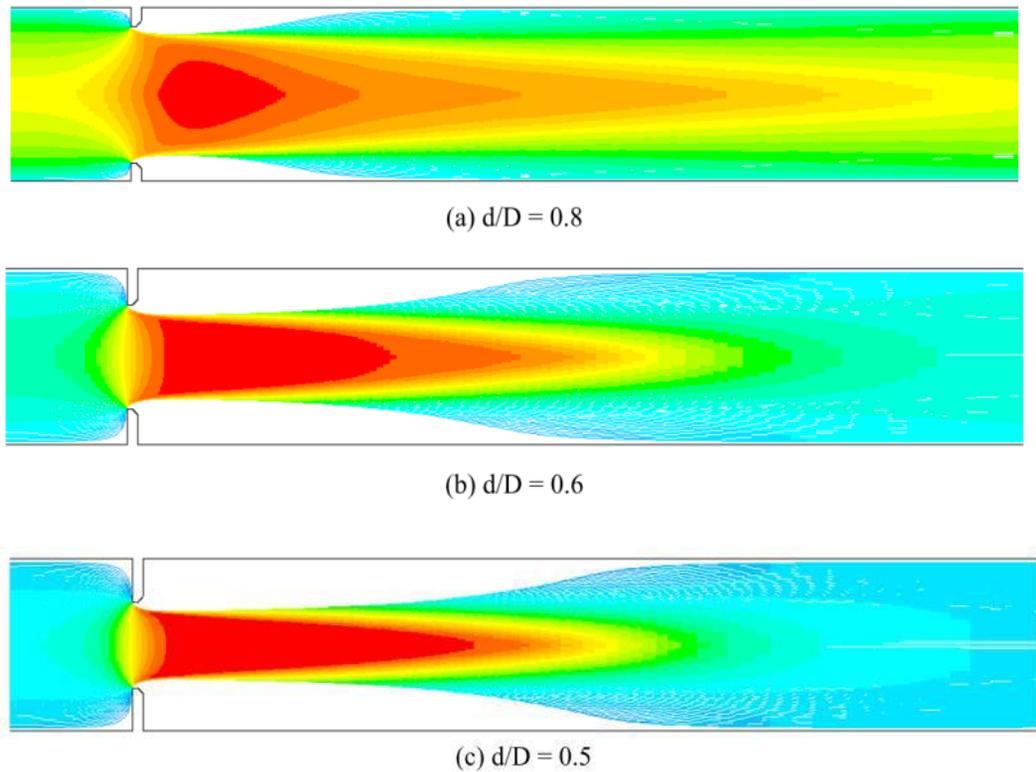
Adanya pemisahan (separasi) aliran menyebabkan *vena contracta* terbentuk pada jarak tertentu setelah melewati plat *orifice*. Hal tersebut dapat terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Streamline* melalui pelat Orifice (Eiamsa et al., 2008)

Vena contracta merupakan daerah dimana luas penampang aliran memiliki nilai yang paling minimum. Pada daerah ini tekanan aliran sangat rendah dan kecepatan aliran sangat tinggi. Peletakan *pressure tap* yang optimal berada pada *vena contracta* untuk mendapatkan nilai pengukuran yang tepat. Seiring aliran menjauhi *vena contracta*, kecepatan aliran berkurang untuk mengisi penuh kembali pada pipa. Profil kecepatan fluida kembali seperti semula saat *streamline* fluida yang terseparasi kembali bertemu dengan dinding pipa atau yang sering disebut dengan *reattachment point*. Tekanan akan dipulihkan pada pipa *downstream*. Akan tetapi tekanan tidak kembali ke semula. Selisih nilai tekanan tersebut sering disebut dengan *permanent pressure loss* (Leopard, 2017).

Posisi *vena contracta* dan *reattachment point* merupakan fungsi dari geometri pelat *orifice* dan bilangan *Reynolds*. Terlihat pada Gambar 2.8 semakin kecil rasio diameter *orifice* semakin jauh posisi *vena contracta* dan *reattachment point*. Bilangan *Reynolds* juga mempengaruhi letak *vena contracta* dan *reattachment point*.

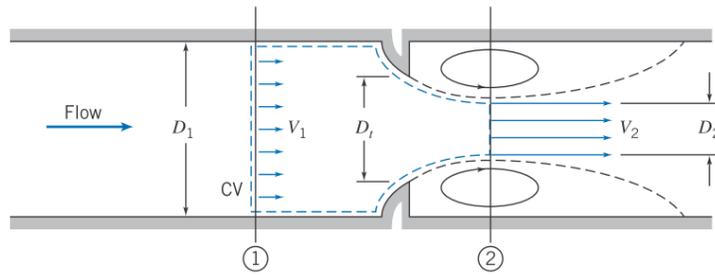


Gambar 2.8 Posisi *vena contracta* dan *reattachment point* pada geometri plat *orifice* berbeda; $\beta =$ (a) 0.8, (b) 0.6, dan (c) 0.5. (Eiamsa et al., 2008).

2.3. Persamaan pada *Orifice Flow Meter*

Persamaan umum yang digunakan pada *flow meter* menggunakan persamaan Bernoulli, dengan asumsi:

- *Steady flow*
- *Incompressible flow*
- *Flow along a streamline*
- *No friction*
- *Uniform velocity* di (1) dan (2)



Gambar 2.9 Aliran horizontal pada *flow meter* (Fox et al., 2011).

Jika aliran mengalir secara horizontal sebagaimana ditunjukkan Gambar 2.9 (dengan demikian perbedaan elevasi tidak ada atau diabaikan) dan kerugian aliran diabaikan, persamaan *Bernoulli* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (2.1)$$

dimana:

p = tekanan (Pa)

ρ = densitas (kg/m^3)

v = kecepatan aliran (m/s)

Untuk aliran vertical ketinggian atau elevasi h_1 dan h_2 harus dimasukkan ke dalam persamaan 2.1 diatas. Asumsikan profil kecepatan aliran seragam pada sisi hulu dan hilir, maka persamaan kontinuitas menjadi:

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (2.2)$$

dimana:

Q = debit aliran fluida (m^3/s)

A_1 = luas penampang masuk batas sistem (m^2)

v_1 = kecepatan aliran masuk (m/s)

A_2 = luas penampang masuk batas sistem (m^2)

v_2 = kecepatan aliran keluar (m/s)

Kapasitas aliran untuk fluida *incompressible* dinyatakan dalam:

$$Q = vA \quad (2.3)$$

dimana:

- Q = debit aliran fluida (m^3/s)
- v = kecepatan aliran fluida (m/s)
- A = luas penampang aliran fluida (m^2)

Untuk kecepatan teoretis, persamaan 2.4 bisa didapatkan dengan mensubstitusikan persamaan 2.1 ke dalam persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}} \quad (2.4)$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \times \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right) \quad (2.5)$$

Adapun jumlah massa yang mengalir melintasi sebuah *orifice* per satuan waktu disebut *mass flow rate* (laju aliran massa) dan dinotasikan dengan Q_m . Jika fluida mengalir masuk dan keluar melalui pipa, laju aliran massa yang masuk adalah proporsional terhadap luas permukaan (A) dari pipa, densitas dan kecepatan dari fluida. Laju aliran massa dapat dihitung dengan persamaan 2.6.

$$Q_m = \rho v A \quad (2.6)$$

Untuk menghitung laju aliran volume melalui *orifice* silinder, kecepatan alir yang digunakan adalah v_1 (kecepatan alir pada *orifice*) dan luas penampang *orifice* lebih kecil dari luas penampang pipa ($A_2 < A_1$), sehingga

dengan substitusi persamaan 2.5 pada persamaan 2.6 untuk menghitung laju aliran teoretis (Allen,2006; Efunda,2009; dan Sari, 2009) sebagaimana:

$$Q_{\text{teoretis}} = A_2 \frac{\sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (2.7)$$

dengan:

Q_{teoretis}	= debit aliran fluida (m^3/s)
Δp	= perbedaan tekanan (Pa)
ρ	= densitas atau massa jenis (kg/m^3)
A_1	= luas permukaan pipa (m^2)
A_2	= luas permukaan <i>orifice</i> (m^2)

Dari persamaan 2.7 dapat disimpulkan bahwa dengan beberapa fluida dengan densitas tertentu, geometri *flow meter*, besaran laju aliran sebanding dengan besaran dari akar penurunan tekanan yang terukur pada *pressure tap*. Hal tersebut merupakan konsep dasar dari *flow meter*. *Coefficient of discharge*, *Cd* harus ada oleh karena 2 faktor: 1) keberadaan *vena contracta*, 2) keberadaan *swirling flow* dan *turbulent motion* di dekat *orifice plate* yang menyebabkan timbulnya *head loss* yang tidak bisa dihitung secara teoretis.

2.3.1. *Coefficient of Discharge (Cd)*

Coefficient of discharge adalah koefisien koreksi tidak berdimensi. Nilai *coefficient of discharge* ditetapkan secara empiris melalui penelitian. Nilai *coefficient of discharge* merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* dan rasio koreksi plat *orifice*.

Persamaan 2.7 juga disebut persamaan laju aliran teoretis yang menyatakan hubungan antara laju aliran massa dengan penurunan tekanan

pada alat ukur secara tidak langsung. Persamaan 2.7 dimodifikasi oleh Sari, 2009 menjadi:

$$Q_m = C_d \sqrt{2\rho\Delta p} \frac{A_2}{\sqrt{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (2.8)$$

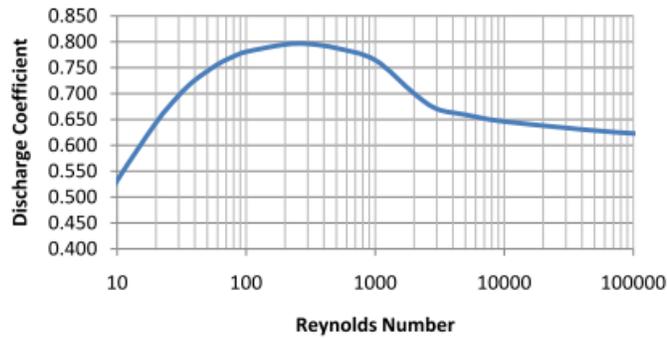
Coefficient of discharge (C_d) dan perbandingan diameter β digunakan untuk mempermudah pernyataan mengenai laju aliran (Efunda, 2009). Laju aliran volume (kapasitas) tiap detik dari suatu fluida dapat dihitung dengan mengembangkan persamaan laju aliran massa terhadap jenis fluida. Kecepatan alir volume tiap detiknya dapat dituliskan dengan persamaan 2.9 (Sari, 2009):

$$Q_a = C_d \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \frac{A_2}{\sqrt{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (2.9)$$

dimana:

- Q_a = kecepatan alir volume tiap detik (m^3/s)
- C_d = *coefficient of discharge*
- ρ = densitas atau massa jenis (kg/m^3)

Gambar 2.10 menggambarkan hubungan antara *coefficient of discharge* (C_d) dan bilangan *Reynolds* yang berkisar dari 10 sampai 10^5 . Hollingshead (2011) menjelaskan bahwa grafik yang membentuk cekungan keatas pada bilangan *Reynolds* $< 3 \times 10^3$ disebabkan oleh aliran laminar.



Gambar 2.10 Grafik hubungan antara *coefficient of discharge* (C_d) dan bilangan *Reynolds* (Hollingshead, 2011).

Nilai *coefficient of discharge* dapat dihitung secara analitis. *The American Society of Mechanical Engineers* (ASME) merekomendasi persamaan 2.10 yang dikembangkan oleh ISO (White, 2011). Persamaan tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$C_d = f(\beta) + 91,71\beta^{2.5}Re_D^{-0.75} + \frac{0,09\beta^4}{1-\beta^4}F_1 - 0,0337\beta^3F_2 \quad (2.10)$$

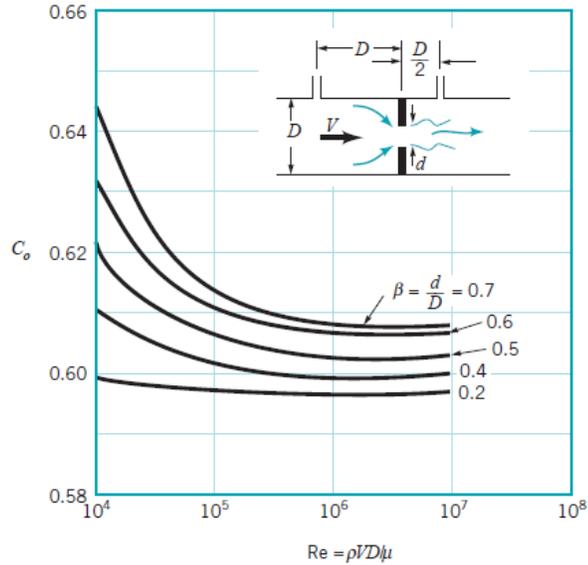
dimana:

$$f(\beta) = 0,5959 + 0,0312\beta^{2.1} - 0,184\beta^8 + \frac{97.21\beta^{2.5}}{Re^{0.75}}$$

- $D, \frac{1}{2} D$ taps : $F_1 = 0,4333; F_2 = 0,47$

Salah satu cara membandingkan akurasi alat ukur aliran berbasis beda tekanan adalah dengan membandingkan kapasitas aliran actual terhadap kapasitas aliran teoretisnya. Rasio antara kapasitas aliran actual terhadap kapasitas aliran teoretis disebut *coefficient of discharge yang* dinotasikan C_o dapat dilihat pada Gambar 2.11:

$$Cd = \frac{Q_{aktual}}{Q_{teoritis}} \quad (2.11)$$



Gambar 2.11 Grafik hubungan antara *coefficient of discharge* (C_d) dan bilangan *Reynolds* (Munson, et al 2009).

2.3.2. Bilangan *Reynolds*

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tidak berdimensi yang menunjukkan karakteristik aliran fluida. Dari bilangan *Reynolds* dapat diketahui aliran laminar atau aliran turbulen yang mengalir. Aliran laminar terjadi nilai bilangan *Reynolds* ≤ 2300 . Sebaliknya aliran turbulen memiliki nilai bilangan *Reynolds* > 2300 . Persamaan mencari bilangan *Reynolds* tertulis sebagai berikut (Leopard, 2017):

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.12)$$

dimana:

- Re = Bilangan *Reynolds*
- ρ = Densitas fluida (kg/m^3)
- v = Kecepatan aliran (m/s)
- D = Diameter pipa (m)
- μ = Viskositas fluida ($kg/m.s$)

Menurut besarnya angka *Reynolds*, aliran dibagi menjadi 2 macam: aliran laminar dan turbulen. Selanjutnya, untuk menentukan apakah aliran laminar dan aliran turbulen sudah mencapai *fully developed*, persamaan 2.13 untuk aliran laminar dan persamaan 2.14 untuk aliran turbulen dapat digunakan.

$$\frac{le}{D} = 0,06Re \quad (2.13)$$

$$\frac{le}{D} = 4,4Re^{1/6} \quad (2.14)$$

dimana:

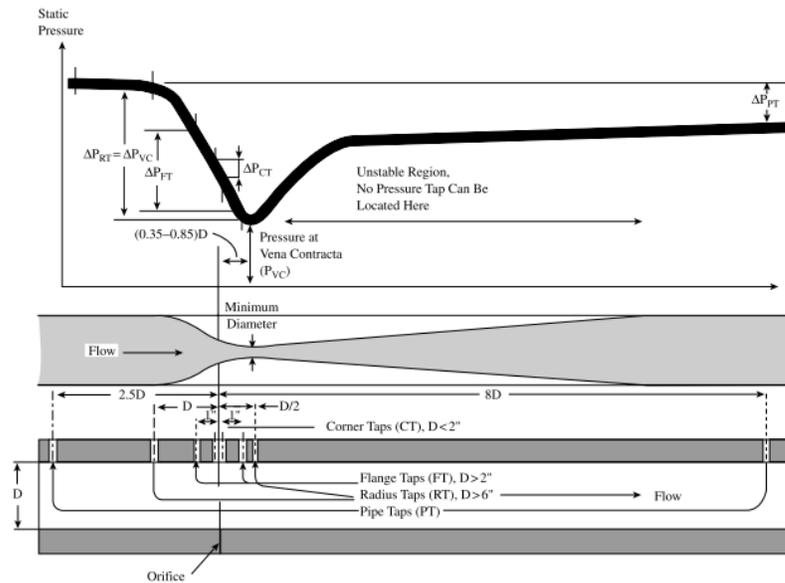
le = *entrance length region* atau panjang pipa

D = Diameter dalam pipa

Re = *Reynolds Number*

2.4. Permanent Pressure Loss

Saat fluida melewati plat *orifice*, maka tekanan fluida menurun. Tekanan minimum terjadi terletak di *vena contracta*. Seiring aliran menjauhi *vena contracta*, tekanan akan dipulihkan kembali. Perubahan tekanan tersebut terlihat pada Gambar 2.12 (Leopard, 2017). Tetapi tekanan tidak dapat pulih sepenuhnya. Terdapat perbedaan tekanan, dimana bagian *downstream* memiliki tekanan yang lebih kecil daripada tekanan *upstream*. Perbedaan tekanan ini disebut dengan *permanent pressure loss*. Pada praktiknya, lokasi pengukuran *permanent pressure loss* pada bagian *upstream* berjarak $2.5D$ dan pada bagian *downstream* berjarak $8D$ sesuai Gambar 2.12. Liptak, 2003 menjelaskan bahwa software CFD dapat mengukur *pressure loss* seperti ditunjukkan pada gambar 2.13



Gambar 2.12 Perbedaan tekanan sepanjang *flow meter* (Liptak, 2003).

Setiap jenis *differential flow meter* memiliki besaran *permanent pressure loss* yang berbeda-beda. Perbedaan besaran *pressure loss* dapat dilihat pada Gambar 2.13. Seiring kenaikan rasio diameter (β), *permanent pressure loss* semakin kecil.

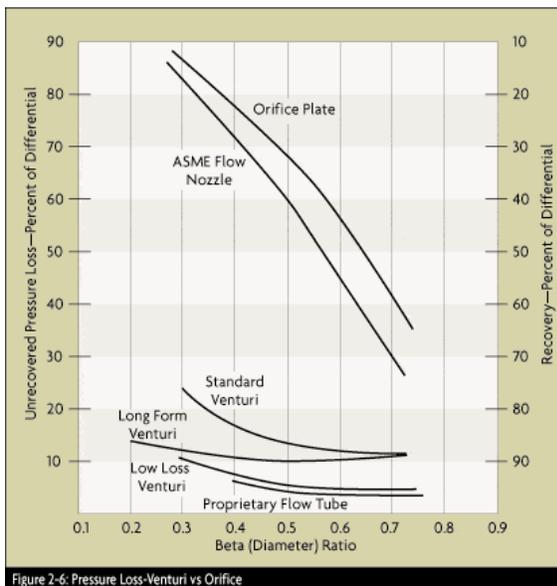


Figure 2-6: Pressure Loss-Venturi vs Orifice

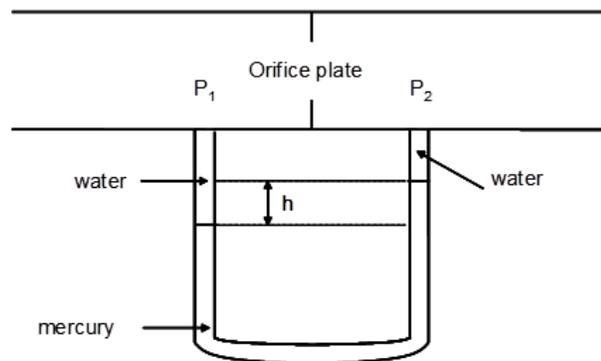
Gambar 2.13 Grafik *permanent pressure loss* berbagai *differential flow meter* (Miller, 1996).

2.5. Kerugian Energi pada Sistem Perpipaan

Fluida yang melewati sistem perpipaan akan mengalami kerugian energy yang disebut *head loss*. *Head loss* pada suatu aliran diakibatkan oleh gesekan ataupun faktor-faktor seperti adanya sudut belokan, sambungan, ataupun katup. Kerugian energi tersebut diakibatkan oleh *pressure drop* yang terjadi pada aliran. Satuan *head loss* adalah satuan panjang. Di dalam sistem perpipaan terdapat dua jenis *head loss*, yaitu *head loss* mayor dan *head loss* minor.

2.5.1. Pressure Drop (ΔP)

Pressure drop merupakan penurunan tekanan yang terjadi akibat *fitting* yang ada pada perpipaan dan gesekan yang terjadi dialam pipa. *Pressure drop* biasanya diukur menggunakan alat ukur manometer pada *pressure tap*. Manometer yang sering digunakan ialah manometer raksa. Penggunaan manometer raksa dapat diamati pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Manometer raksa sebagai alat ukur perbedaan tekanan (Zajuba, 2017)

Pembacaan manometer tersebut dapat dilihat dari perbedaan ketinggian dari fluida. Perbedaan tekanan yang terjadi didapatkan dari persamaan Hidrostatik 2.15 sebagai berikut:

$$\Delta P_{1-2} = \rho g \Delta h \quad (2.15)$$

dimana:

ΔP_{1-2} = Perbedaan tekanan (Pa)

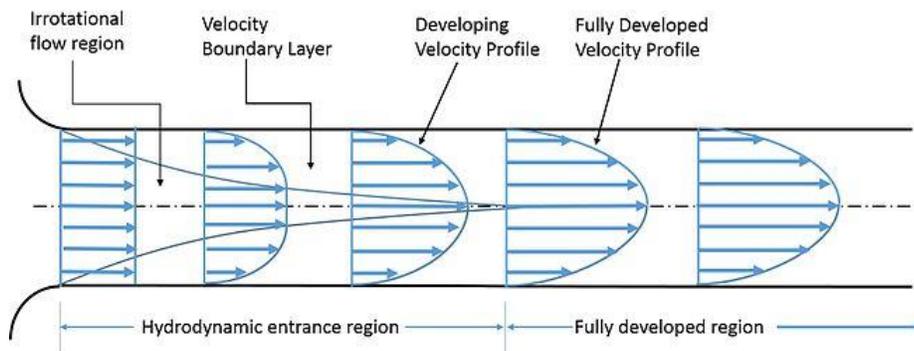
ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

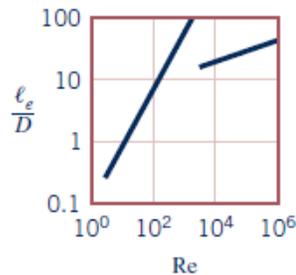
Δh = ketinggian fluida (m)

2.6. *Fully developed region*

Aliran yang *fully developed* digambarkan oleh Gambar 2.15 dengan profil kecepatan yang tidak berubah terhadap koordinat. Gambar 2.16 Untuk menentukan jarak *fully developed* pada aliran turbulenta dan aliran laminar. Gambar 2.16 dapat digunakan.

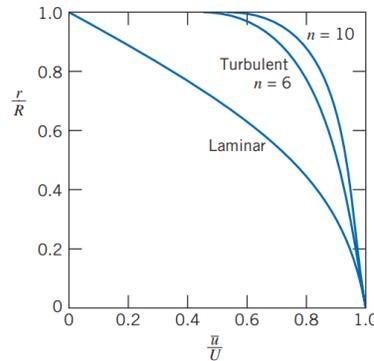


Gambar 2.15 Aliran *Fully developed* (ISO 5167-2).



Gambar 2.16 Grafik Jarak aliran *fully developed* (Munson, Young, Okhisi, 2016)

Profil kecepatan aliran laminar dan turbulen setelah keduanya mencapai *fully developed flow* dapat terlihat pada Gambar 2.17



Gambar 2.17 Profil kecepatan pada aliran laminar dan turbulen (Fox et al., 2011).

Untuk memudahkan dalam menentukan lokasi pemasangan *orifice* pada pipa terdapat beberapa standard yang dapat dipakai. Dapat mengacu kepada standard API MPMS 14.3 atau ISO 5167-2 dapat digunakan.

Tabel 2 Minimum upstream side orifice (ISO 5167-2).

Diameter ratio, β	Upstream (inlet) side of orifice plate													
	Single 90° bend Two 90° bends in any plane ($S > 30D$) ⁽¹⁾		Two 90° bends in the same plane: S-configuration ($30D \geq S > 10D$) ⁽¹⁾		Two 90° bends in the same plane: S-configuration ($10D \geq S$) ⁽¹⁾		Two 90° bends in perpendicular planes		Two 90° bends in perpendicular planes ($5D > S$) ⁽¹⁾⁽²⁾		Single 90° tee with or without an extension Mitre 90° bend		Single 45° bend Two 45° bends in the same plane: S-configuration ($S \geq 2D$) ⁽¹⁾	
	1	2	3		4		5		6		7		8	
--	A ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾	A ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾	A ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾	A ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾	A ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾	A ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾	A ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾
≤0.20	6	3	10	⁽⁵⁾	10	⁽⁵⁾	19	18	34	17	3	g	7	9
0.40	16	3	10	⁽⁵⁾	10	⁽⁵⁾	44	18	50	25	9	3	30	9
0.50	22	9	18	10	22	10	44	18	75	34	19	9	30	18
0.60	42	13	30	18	42	18	44	18	65	25	29	18	30	18
0.67	44	20	44	18	44	20	44	20	60	18	36	18	44	18
0.75	44	20	44	18	44	22	44	20	75	18	44	18	44	18

2.7. Pompa Sentrifugal

Performa pompa merupakan ukuran kemampuan suatu pompa dalam menaikkan *head fluida* dari suatu tempat ke tempat lain. Dalam menentukan performa pompa sentrifugal, beberapa faktor yang perlu diperhatikan adalah instalasi pompa, daya pompa, efisiensi, kecepatan spesifik, debit, putaran, dan jenis fluida. Kriteria yang umumnya

dijadikan parameter berupa nilai *head*, daya dan *Net Positive Suction Head* (NPSH) pompa (Dahmani, 2017).

2.8. *Pipe Sizing dari Orifice Flow Meter Apparatus*

Beberapa prosedur untuk melakukan sizing pada pipa yang digunakan pada *orifice flow meter apparatus* meliputi:

1. Menentukan salah satu sistem dari *apparatus incompressible flow*, *gravity feed* dan *pump driven*.
2. Menentukan propertis fluida yang digunakan.
3. Menentukan temperature fluida yang digunakan.
4. Menghitung sistem *pressure* yang terjadi ketika aliran melewati *orifice*.
5. Menentukan jumlah batasan *flow rate* yang digunakan.
6. Membuat sketsa sistem *apparatus*.
7. Menentukan *flow of supply pipe* dengan *flow meter* yang digunakan.
8. Menentukan *length of pipe flow* berdasarkan *entrance length region*.
9. Menghitung *pressure drop* dan *head* dari *flow rate*.
10. Memilih pompa berdasarkan no 9.

2.9. *Pump Affinity Laws*

Menurut Georgescu (2014) Hukum *affinity* pompa adalah hubungan yang mengatur operasi pompa pada kecepatan rotasi yang berbeda biasanya diturunkan bersama dengan pengaturan operasi pompa dengan diameter rotor yang berbeda.

Jika hanya tertarik pada variasi kecepatan rotasi rotor, hukum *affinity* (2.16) dituliskan sebagaimana:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.16)$$

Dimana:

Q_1 = debit pompa

Q_2 = debit keluar

$N_1 =$ Putaran rpm pompa

$N_2 =$ Putaran rpm pompa yang disetting

2.10. Manometer U

Manometer adalah instrumen yang mengukur tekanan menggunakan kolom cairan. Instrumen ini digunakan untuk mengukur tekanan cairan dan terdiri dari tabung yang diisi dengan cairan. Manometer juga digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan.

2.10.1. Manometer U Terbuka

Permukaan raksa pada pipa terbuka lebih tinggi daripada permukaan raksa pada pipa yang berhubungan dengan ruang tertutup dirumuskan:

$$(P_2 - P_1) = \rho gh \quad (2.17)$$

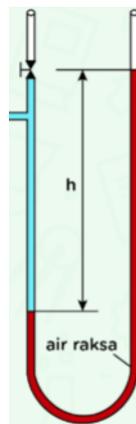
Keterangan:

ρ = rapat massa (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = tinggi cairan (cm)

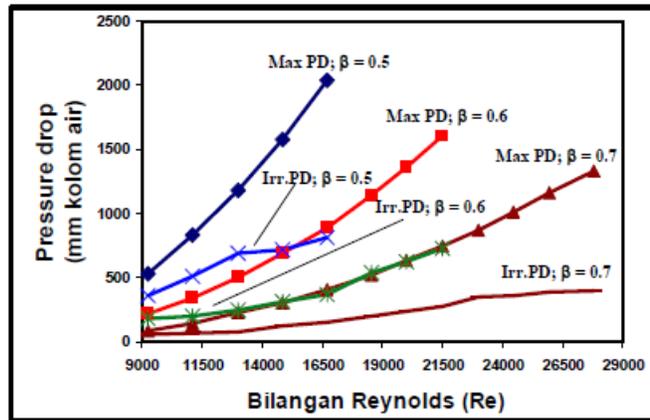
$P_2 - P_1$ = perbedaan tekanan (Pa)



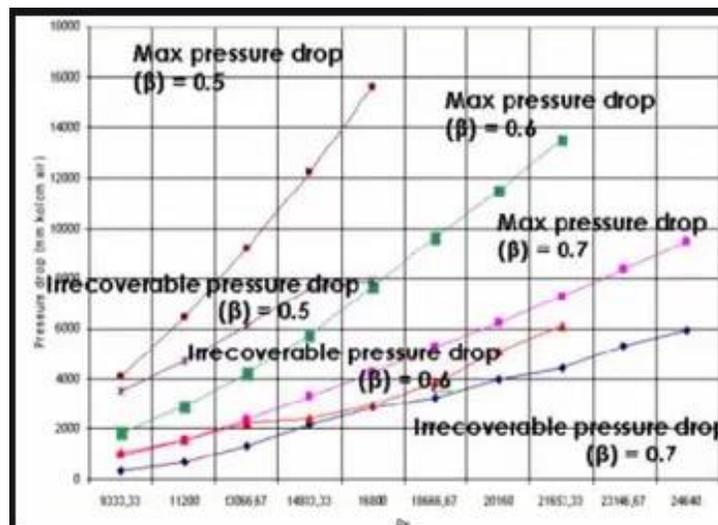
Gambar 2.18 Manometer U Terbuka.

2.11. Penelitian Terdahulu

Septiadi (2008) melakukan eksperimen pada plat *orifice* yang memiliki bentuk sudut lubang *quadrant* dengan variasi tebal pelat dan rasio β dalam *range* bilangan *Reynolds* sebesar 9.000 – 29.000. Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa *maximum pressure drop* tertinggi pada rasio β yang paling kecil yaitu $\beta = 0,5$ sebagaimana ditunjukkan Gambar 2.19 untuk tebal pelat $t = 10$ mm dan Gambar 2.20 untuk tebal pelat $t = 20$ mm.



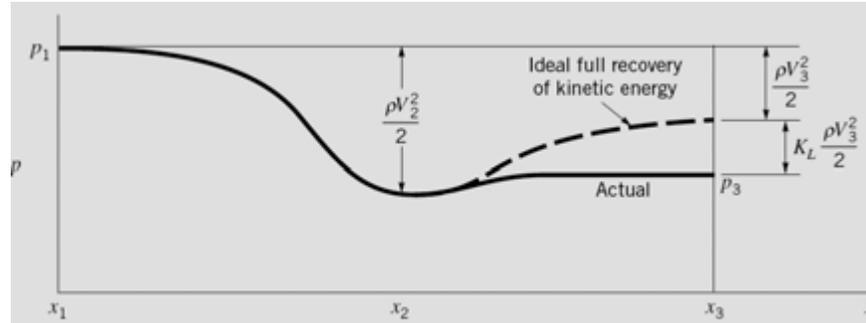
Gambar 2.19 Grafik *maximum pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* pada tebal plat *orifice* $t = 10$ mm (Septiadi, 2008).



Gambar 2.20 Grafik *maximum pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* pada tebal plat *orifice* $t = 20$ mm (Septiadi, 2008).

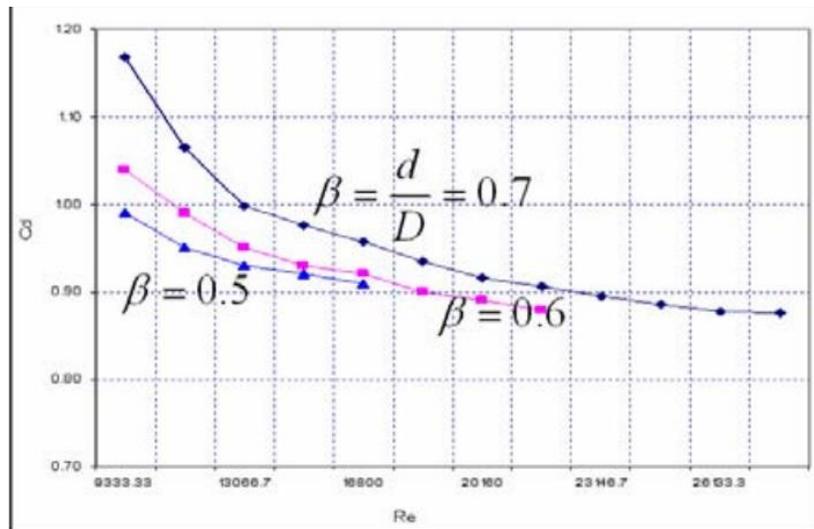
Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit aliran yang melalui *orifice flow meter*, semakin besar pula *permanent pressure loss*

yang dihasilkan. Hal ini dapat terjadi karena adanya energi pada aliran telah dikonversikan menjadi energi kinetik. Lalu energi kinetik tersebut sebagian hilang pada tepi keluaran plat *orifice*. Pola ini terlihat pada Gambar 2.21.

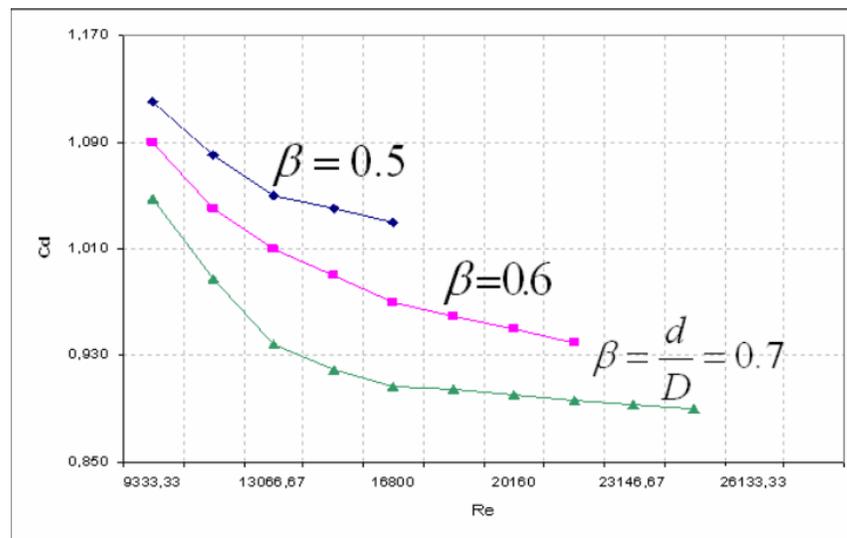


Gambar 2.21 Pola distribusi tekanan pada *irrecoverable pressure drop* ideal dan actual (Munson et al., 2002).

Penelitian ini juga menyimpulkan bahwa nilai *coefficient of discharge* (C_d) pada plat *orifice* dengan 10 mm dan 20 mm memiliki grafik yang hampir sama pada plat *orifice* umumnya. Semakin besar bilangan *Reynolds* maka semakin kecil nilai C_d seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.22 dan Gambar 2.23. Akan tetapi pada kasus $t = 20$ mm memiliki urutan *coefficient of discharge* (C_d) dari yang terbesar hingga paling kecil yang berbeda dibandingkan dengan $t = 10$ mm sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.22. Pada $t = 20$ mm, *coefficient of discharge* (C_d) pada $\beta=0,5$ memiliki nilai lebih tinggi dan selanjutnya diikuti oleh $\beta=0,6$ dan $\beta=0,7$. Sebaliknya pada $t = 10$ mm, $\beta=0,7$ memiliki nilai *coefficient of discharge* (C_d) tertinggi serta *pressure drop* maksimum dan diikuti oleh $\beta= 0,6$ dan $\beta=0,5$. yang disebabkan oleh *vena contracta* yang terjadi.



Gambar 2.22 Grafik *coefficient of discharge (Cd)* plat orifice $t = 10 \text{ mm}$ (Septiadi, 2008).



Gambar 2.23 Grafik *coefficient of discharge (Cd)* plat orifice $t = 20 \text{ mm}$ (Septiadi, 2008).

Penelitian secara numerik dilakukan oleh Hollingshead (2011). Penelitian awalnya membandingkan *coefficient of discharge (Cd)* dari semua jenis *flow meter* seperti: *orifice*, *wedge*, *venturi*, dan *V-cone*. Simulasi numerik pada plat *orifice* ini dilakukan dengan variasi rasio $\beta=0,3$, $0,5$, $0,7$ pada rentang bilangan *Reynolds* yang cukup besar yaitu $1 - 10^7$. Plat *orifice* yang

digunakan menggunakan plat *orifice* standar (*square edge orifice*). Ditemukan bahwa $\beta=0,7$ memiliki Cd yang akan terus turun seiring bertambah besarnya Re yang digunakan.