

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan analisis dan pembahasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan plat *orifice* rasio beta yang sama pada dua ukuran yang berbeda. Variasi debit air yang diatur melalui rotameter, lalu mengamati nilai beda tekanan yang terbaca pada manometer U. Nilai beda tekanan digunakan untuk mengetahui nilai  $Q_{ideal}$  yang kemudian dipakai untuk mencari nilai Cd. Hasil perhitungan dari berbagai pengujian akan dibuat grafik dan dianalisis.

#### 4.1 Perhitungan Aliran *Fully Developed*

Aliran berkembang penuh adalah aliran internal yang sudah tidak ada variasi kecepatannya. Jadi profil kecepatan tetap, tidak berubah karena adanya perubahan jarak. Perhitungan aliran berkembang penuh ini dilakukan untuk menentukan posisi *flange* pada pipa ½ inch. Pada pipa 1 inch, perhitungan tidak dilakukan karena sudah memasang *straightener* sebagai gantinya. Perhitungan aliran *fully developed* pada pipa ½ inch menggunakan bilangan reynold 2100 karena diasumsikan aliran yang terjadi pada aliran laminer.

$$\text{Diketahui: } D_{\frac{1}{2}\text{inch}} = 18,7 \text{ mm} = 0,0187 \text{ m}$$

$$Re = 2100$$

Perhitungan *fully developed* pada pipa ½ inch:

$$\frac{l_l}{D} = 0,06 \cdot Re$$

$$\frac{l_l}{0,0187} = 0,06 \cdot 2100$$

$$l_l = 2,35 \text{ m}$$

## 4.2 Hasil Penelitian

Data Hasil Penelitian *Orifice* pada Pipa ½ dan 1 inch

Berikut ini adalah tabel hasil pengambilan data pada pengujian *orifice plate meter* dengan berbagai variasi debit. Hasil pengambilan data dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1 dan 4.2 diketahui bahwa setiap pengambilan 1 data dengan variasi debit aktual yang terbaca di rotameter dari 1,5 LPM sampai 11 LPM dilakukan sebanyak 10 kali percobaan yang selanjutnya diambil rata-rata. Hasil pengambilan data tersebut digunakan untuk menghitung *coefficient of discharge* ( $C_d$ ) yang selanjutnya dianalisa.

Keterangan:

$Q_{\text{aktual}}$  : Debit aktual yang terbaca pada rotameter (LPM)

$\Delta p$  : Beda tekanan sisi *upstream* dan sisi *downstream* pada *orifice* (Pa)

**Tabel 4.1** Data Hasil Penelitian pada Pipa ½ inch

No	Qaktual (LPM)	Beda Tekanan $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )										rata-rata			
		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10				
1	1,5	400,248	533,664	400,248	667,08	533,664	533,664	533,664	667,08	533,664	533,664	667,08	533,664	667,08	547,0056
2	2	667,08	933,912	667,08	933,912	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	667,08	933,912	800,496	800,496	800,496
3	2,5	1067,328	1334,16	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1067,328	1200,744	1200,744	1334,16	1200,744
4	3	1734,408	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	2001,24	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824
5	3,5	2534,904	2534,904	2534,904	2534,904	2534,904	2534,904	2534,904	2534,904	2534,904	2668,32	2401,488	2668,32	2668,32	2534,904
6	4	3335,4	3068,568	3335,4	3068,568	3335,4	3068,568	3335,4	3068,568	3335,4	3735,648	3602,232	3602,232	3602,232	3428,791
7	4,5	4135,896	4002,48	4269,312	4002,48	4536,144	4002,48	4536,144	4002,48	4536,144	4669,56	4536,144	4536,144	4402,728	4362,703
8	5	4669,56	5069,808	5203,224	5336,64	5336,64	5336,64	5336,64	5336,64	5336,64	5336,64	5336,64	5336,64	5069,808	5216,566
9	5,5	5870,304	6137,136	6003,72	6137,136	6403,968	6137,136	6403,968	6137,136	6403,968	6270,552	6270,552	6403,968	6270,552	6177,161
10	6	6804,216	6937,632	6937,632	6537,384	7604,712	6537,384	7604,712	6537,384	7604,712	7204,464	7337,88	7337,88	7204,464	7124,414
11	6,5	7738,128	8538,624	8004,96	8405,208	8405,208	8405,208	8405,208	8405,208	8405,208	8405,208	8405,208	8271,792	8538,624	8311,817
12	7	9205,704	9339,12	9072,288	8938,872	9339,12	8938,872	9339,12	8938,872	9339,12	9605,952	9605,952	9872,784	9605,952	9419,17
13	7,5	10406,448	10940,112	10673,28	10539,864	10806,696	10539,864	10806,696	10539,864	10806,696	11073,53	10673,28	11206,944	11073,528	10820,04
14	8	11874,024	11874,024	12007,44	11874,024	12674,52	11874,024	12674,52	11874,024	12674,52	12807,94	11874,02	12407,688	12407,688	12207,56
15	8,5	13475,016	13475,016	13475,016	13875,264	14142,096	13875,264	14142,096	13875,264	14142,096	14408,93	14142,1	14008,68	13875,264	13875,26
16	9	15743,088	15476,256	15476,256	15743,088	15743,088	15743,088	15743,088	15743,088	15743,088	15609,67	16009,92	16009,92	16009,92	15729,75
17	9,5	16810,416	17077,248	17610,912	16810,416	17744,328	16810,416	17744,328	16810,416	17744,328	17877,74	17210,66	17210,664	17877,744	17357,42
18	10	19345,32	18945,072	19612,152	18678,24	19612,152	18678,24	19612,152	18678,24	19612,152	19612,15	19211,9	19612,152	18945,072	19318,64
19	10,5	21880,224	22547,304	21746,808	21213,144	22013,64	21213,144	22013,64	21213,144	22013,64	22147,06	22280,47	22013,64	22280,472	21973,62
20	11	23881,464	24014,88	23881,464	23748,048	24281,712	23748,048	24281,712	23748,048	24281,712	23748,05	23881,46	23881,464	23881,464	23908,15

**Tabel 4.2** Data Hasil Penelitian pada Pipa 1 inch

No	Qaktual (LPM)	Beda Tekanan $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )										rata-rata		
		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10			
1	1,5	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416
2	2	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416	133,416
3	2,5	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832	266,832
4	3	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248	400,248
5	3,5	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664	533,664
6	4	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08	667,08
7	4,5	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496	800,496
8	5	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912	933,912
9	5,5	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744	1200,744
10	6	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16	1334,16
11	6,5	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576	1467,576
12	7	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992	1600,992
13	7,5	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824	1867,824
14	8	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072	2268,072
15	8,5	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488	2401,488
16	9	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736	2801,736
17	9,5	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568	3068,568
18	10	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4	3335,4
19	10,5	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648	3735,648
20	11	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312	4269,312

## 4.3 Perhitungan

### 4.3.1 Perhitungan *Coefficient of Discharge* (Cd) pada Pipa ½ inch

Perhitungan ini adalah contoh perhitungan koefisien *discharge* dengan mengambil salah satu data pada tabel 4.1 yaitu variasi debit aktual ( $Q_{\text{aktual}}$ ) sebesar 1,5 LPM.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } D_1 & : 18,7 \text{ mm} = 0,0187 \text{ m} \\ d_2 & : 7,48 \text{ mm} = 0,00748 \text{ m} \\ \mu_{\text{Air}} & : 0,001 \text{ N.s/m}^2 \\ \rho_{\text{Air}} & : 1000 \text{ kg/m}^3 \\ A_1 & : 2,746 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ A_2 & : 4,394 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \\ \Delta p & : 547,0056 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Perlu diketahui bahwa satuan di atas adalah SI dimana harus dikonversi terlebih dahulu debit aktual 1,5 LPM menjadi  $2,5005 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Maka kecepatan fluida yaitu:

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q}{A_1} \\ v &= \frac{2,5005 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{2,746 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \\ v &= 0,09106 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Setelah kecepatan fluida didapatkan maka bisa mencari angka Reynolds dengan menggunakan persamaan (2.13):

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho_{\text{air}} v D}{\mu_{\text{air}}} \\ Re &= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,09106 \text{ m/s} \times 0,0187 \text{ m}}{0,001 \text{ N.s/m}^2} \\ Re &= 1702,817 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai  $Q_{ideal}$  dapat menggunakan persamaan (2.8):

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

$$Q_{ideal} = 4,394 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \sqrt{\frac{2 \times 547,0056 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times \left(1 - \left(\frac{4,394 \cdot 10^{-5}}{2,746 \cdot 10^{-4}}\right)^2\right)}}$$

$$Q_{ideal} = 4,656 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$Q_{ideal}$  telah didapatkan maka selanjutnya menentukan nilai *coefficient of discharge* ( $C_d$ ) dengan  $Q_{aktual}$  yang terbaca pada rotameter. Menggunakan persamaan (2.10):

$$Q_{aktual} = C_d Q_{ideal}$$

$$C_d = \frac{Q_{aktual}}{Q_{ideal}}$$

$$C_d = \frac{2,5005 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{4,656 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$C_d = 0,537$$

Hasil perhitungan di atas telah mendapatkan nilai  $v_{orifice}$ ,  $Re$ ,  $Q_{ideal}$ , dan  $C_d$ . Hasil lengkap dari perhitungan pada pipa PVC ½ inch ditampilkan dalam lampiran 1.

#### 4.3.2 Perhitungan *Coefficient of Discharge* ( $C_d$ ) pada Pipa 1 inch

Perhitungan ini adalah contoh perhitungan koefisien *discharge* dengan mengambil salah satu data pada tabel 4.2 yaitu variasi debit aktual ( $Q_{aktual}$ ) sebesar 1,5 LPM.

Diketahui:  $D_1$  : 27,8 mm = 0,0278 m

$$d_2 : 11,12 \text{ mm} = 0,01112 \text{ m}$$

$$\mu_{\text{Air}} : 0,001 \text{ N.s/m}^2$$

$$\rho_{\text{Air}} : 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$A_1 : 6,069 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2 : 9,712 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Delta p : 133,416 \text{ N/m}^2$$

Perlu diketahui bahwa satuan di atas adalah SI dimana harus dikonversi terlebih dahulu debit aktual 1,5 LPM menjadi  $2,5005 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Maka kecepatan fluida yaitu:

$$v = \frac{Q}{A_1}$$

$$v = \frac{2,5005 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{6,069 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,04120 \text{ m/s}$$

Telah didapat kecepatan fluida maka bisa mencari angka Reynolds dengan menggunakan persamaan (2.13):

$$Re = \frac{\rho_{\text{air}} v D}{\mu_{\text{air}}}$$

$$Re = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,04120 \text{ m/s} \times 0,0278 \text{ m}}{0,001 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 1145,242$$

Untuk mendapatkan nilai  $Q_{\text{ideal}}$  dapat menggunakan persamaan (2.8):

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

$$Q_{\text{ideal}} = 9,712 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \sqrt{\frac{2 \times 133,416 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times \left(1 - \left(\frac{9,712 \cdot 10^{-5}}{6,069 \cdot 10^{-4}}\right)^2\right)}}$$

$$Q_{ideal} = 5,082 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$Q_{ideal}$  telah didapatkan maka selanjutnya menentukan nilai *coefficient of discharge* ( $C_d$ ) dengan  $Q_{aktual}$  yang terbaca pada rotameter. Menggunakan persamaan (2.10):

$$Q_{aktual} = C_d Q_{ideal}$$

$$C_d = \frac{Q_{aktual}}{Q_{ideal}}$$

$$C_d = \frac{2,5005 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{5,082 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$C_d = 0,492$$

Hasil perhitungan di atas telah mendapatkan nilai  $v_{orifice}$ ,  $Re$ ,  $Q_{ideal}$ , dan  $C_d$ . Hasil lengkap dari perhitungan pada pipa PVC 1 inch ditampilkan dalam lampiran 2.

#### 4.3.3 Perhitungan Debit *Orifice* ( $Q_{orifice}$ ) Pada Pipa PVC ½ inch

Untuk perhitungan debit *orifice* pada pipa PVC ½ inch menggunakan salah satu data pada tabel 4.3. Data yang diambil dari tabel tersebut yaitu pada variasi debit air aktual ( $Q_{aktual}$ ) 1,5 LPM:

$$\text{Diketahui: } Q_{aktual} \quad : 1,5 \text{ LPM} = 2,5005 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ideal} \quad : 4,656 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta p_{rata-rata} \quad : 547,0056 \text{ N/m}^2$$

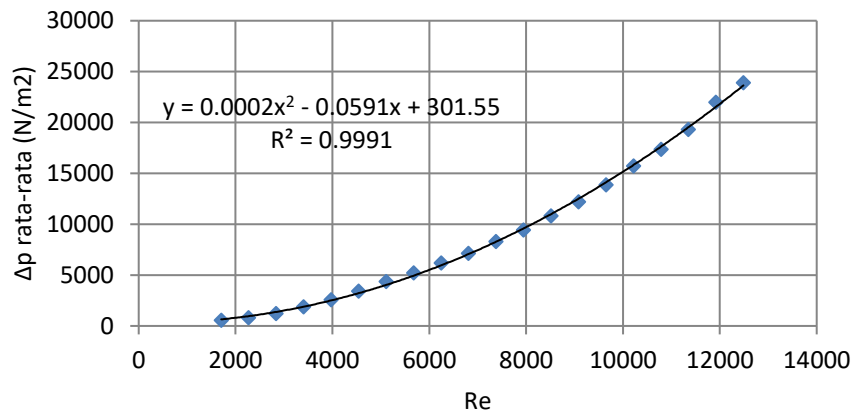
Pada tabel 4.3, hubungan angka Reynolds terhadap nilai beda tekanan rata-rata dan hubungan angka Reynolds terhadap koefisien *discharge* disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2.



**Tabel 4.3** Hasil Perhitungan Re,  $\Delta p_{rata-rata}$ , dan Cd pada Pipa ½ inch

no	Qaktual (LPM)	$\Delta p$ rata-rata (N/m <sup>2</sup> )	v (m/s)	Re	Qideal (m <sup>3</sup> /s)	Cd
1	1,5	547,0056	0,09106	1702,817	0,00004656	0,537
2	2	800,496	0,12141	2270,422	0,00005632	0,592
3	2,5	1200,744	0,15177	2838,028	0,00006898	0,604
4	3	1867,824	0,18212	3405,634	0,00008603	0,581
5	3,5	2561,5872	0,21247	3973,239	0,00010075	0,579
6	4	3428,7912	0,24283	4540,845	0,00011657	0,572
7	4,5	4362,7032	0,27318	5108,450	0,00013149	0,571
8	5	5216,5656	0,30353	5676,056	0,00014378	0,580
9	5,5	6177,1608	0,33389	6243,662	0,00015646	0,586
10	6	7124,4144	0,36424	6811,267	0,00016803	0,595
11	6,5	8311,8168	0,39459	7378,873	0,00018149	0,597
12	7	9419,1696	0,42495	7946,479	0,00019320	0,604
13	7,5	10820,0376	0,45530	8514,084	0,00020707	0,604
14	8	12207,564	0,48565	9081,690	0,00021995	0,606
15	8,5	13875,264	0,51601	9649,295	0,00023449	0,604
16	9	15729,7464	0,54636	10216,901	0,00024967	0,601
17	9,5	17357,4216	0,57671	10784,507	0,00026227	0,604
18	10	19318,6368	0,60706	11352,112	0,00027669	0,602
19	10,5	21973,6152	0,63742	11919,718	0,00029509	0,593
20	11	23908,1472	0,66777	12487,323	0,00030781	0,596

Untuk nilai Re dihitung menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap  $\Delta p_{rata-rata}$  pada pipa ½ inch yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Hubungan Re terhadap  $\Delta p_{\text{rata-rata}}$  pada Pipa  $\frac{1}{2}$  inch

Keterangan:

$$\Delta p = 0,0002(Re)^2 - 0,0591(Re) + 301,55$$

$$\Delta p = 0,0002(Re)^2 - 0,0591(Re) + 301,55$$

$$547,0056 = 0,0002(Re)^2 - 0,0591(Re) + 301,55$$

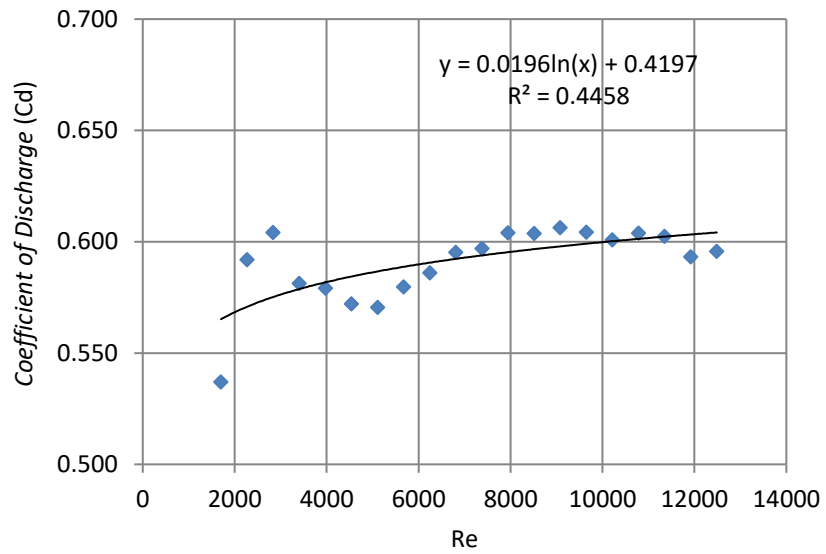
$$0,0002(Re)^2 - 0,0591(Re) - 245,4556 = 0$$

$$Re = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$Re = \frac{-(-0,0591) + \sqrt{(-0,0591)^2 - 4 \times 0,0002 \times (-245,4556)}}{2 \times 0,0002}$$

$$Re = 1265,385$$

Nilai Re yang didapat di atas menggunakan persamaan regresi pada grafik hubungan Re dan  $\Delta p$ . Persamaan regresi pada gambar 4.1 hanya berlaku pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 12500. Selanjutnya menghitung nilai Cd dengan mensubstitusikan nilai Re menggunakan persamaan grafik Re terhadap Cd pada pipa  $\frac{1}{2}$  inch yang dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Hubungan Re terhadap Cd pada Pipa ½ inch

Keterangan:

$$Cd = 0,0196\ln(Re) + 0,4197$$

$$Cd = 0,0196 \cdot \ln(Re) + 0,4197$$

$$Cd = 0,0196 \cdot \ln(1265,385) + 0,4197$$

$$Cd = 0,5597$$

Nilai Cd di atas menggunakan persamaan regresi pada grafik hubungan Re dan Cd. Persamaan regresi pada gambar 4.2 hanya berlaku pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 12500. Nilai *coefficient of discharge* (Cd) yang telah didapatkan, selanjutnya mencari nilai debit air *orifice* ( $Q_{orifice}$ ) menggunakan persamaan (2.10).

$$Q_{orifice} = C_d Q_{ideal}$$

$$Q_{orifice} = 0,5597 \times 4,656 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{orifice} = 2,61 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.3.4 Perhitungan Debit *Orifice* ( $Q_{orifice}$ ) Pada Pipa PVC 1 inch

Untuk perhitungan debit *orifice* pada pipa PVC 1 inch menggunakan salah satu data pada tabel 4.4. Data yang diambil dari tabel tersebut yaitu pada variasi debit air aktual ( $Q_{aktual}$ ) 1,5 LPM:

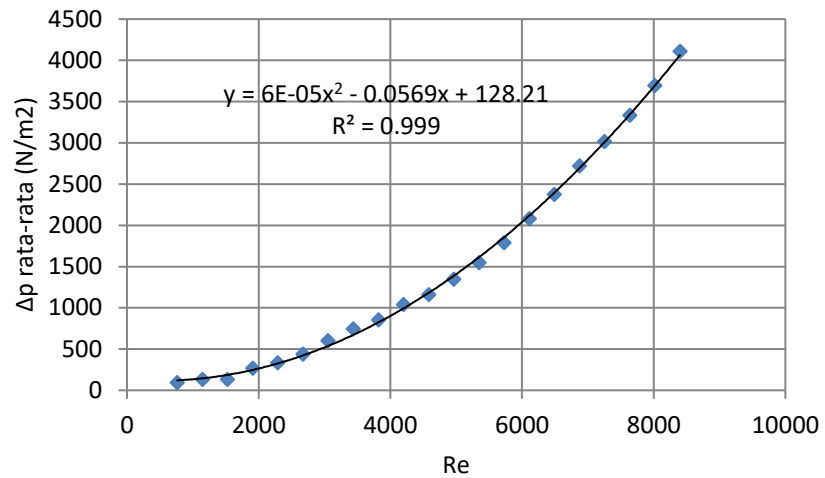
$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } Q_{aktual} & : 1,5 \text{ LPM} = 2,5005 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{ideal} & : 5,082 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta p_{rata-rata} & : 133,416 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Pada tabel 4.4 adalah hasil perhitungan  $Q_{ideal}$  dan  $C_d$  yang selanjutnya membuat grafik hubungan angka Reynolds terhadap nilai beda tekanan rata-rata dan hubungan angka Reynolds terhadap koefisien *discharge* disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil Perhitungan Re,  $\Delta p_{rata-rata}$ , dan Cd pada Pipa 1 inch

no	Qaktual (LPM)	$\Delta P$ rata-rata (N/m <sup>2</sup> )	v (m/s)	Re	Qideal (m <sup>3</sup> /s)	Cd
1	1,5	133,416	0,04120	1145,242	0,00005082	0,4920
2	2	133,416	0,05493	1526,989	0,00005082	0,6560
3	2,5	266,832	0,06866	1908,737	0,00007187	0,5798
4	3	333,54	0,08239	2290,484	0,00008036	0,6223
5	3,5	440,2728	0,09612	2672,231	0,00009232	0,6320
6	4	600,372	0,10986	3053,979	0,00010781	0,6185
7	4,5	747,1296	0,12359	3435,726	0,00012027	0,6237
8	5	853,8624	0,13732	3817,473	0,00012857	0,6483
9	5,5	1040,6448	0,15105	4199,221	0,00014194	0,6459
10	6	1160,7192	0,16478	4580,968	0,00014991	0,6672
11	6,5	1347,5016	0,17851	4962,715	0,00016152	0,6709
12	7	1547,6256	0,19225	5344,463	0,00017310	0,6741
13	7,5	1787,7744	0,20598	5726,210	0,00018604	0,6720
14	8	2081,2896	0,21971	6107,957	0,00020073	0,6644
15	8,5	2374,8048	0,23344	6489,705	0,00021442	0,6608
16	9	2721,6864	0,24717	6871,452	0,00022955	0,6536
17	9,5	3015,2016	0,26091	7253,199	0,00024161	0,6555
18	10	3335,4	0,27464	7634,947	0,00025411	0,6560
19	10,5	3695,6232	0,28837	8016,694	0,00026748	0,6544
20	11	4109,2128	0,30210	8398,441	0,00028206	0,6501

Untuk nilai Re dihitung menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap  $\Delta p_{rata-rata}$  pada pipa 1 inch yang dapat dilihat pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Hubungan Re terhadap  $\Delta p_{\text{rata-rata}}$  pada Pipa 1 inch

Keterangan:

$$\Delta p = 0,00006(Re)^2 - 0,0569(Re) + 128,21$$

$$\Delta p = 0,00006(Re)^2 - 0,0569(Re) + 128,21$$

$$133,416 = 0,00006(Re)^2 - 0,0569(Re) + 128,21$$

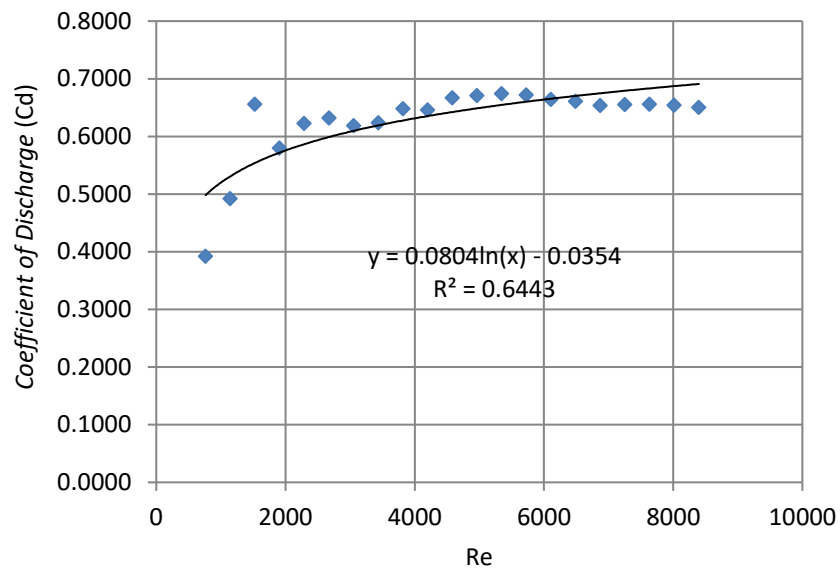
$$0,00006(Re)^2 - 0,0569(Re) - 5,206 = 0$$

$$Re = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$Re = \frac{0,0569 + \sqrt{(-0,0569)^2 - 4 \times 0,00006 \times (-5,206)}}{2 \times 0,00006}$$

$$Re = 1032,379$$

Nilai Re yang didapat di atas menggunakan persamaan regresi pada grafik hubungan Re dan  $\Delta p$ . Persamaan regresi pada gambar 4.3 hanya berlaku pada kisaran angka Reynolds 1140 sampai 8400. Selanjutnya menghitung nilai Cd dengan mensubstitusikan nilai Re menggunakan persamaan grafik Re terhadap Cd pada pipa ½ inch yang dilihat pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Hubungan Re terhadap Cd pada Pipa 1 inch

Keterangan:

$$Cd = 0,0804 \ln(Re) - 0,0354$$

$$Cd = 0,0804 \ln(Re) - 0,0354$$

$$Cd = 0,0804 \ln(1032,379) - 0,0354$$

$$Cd = 0,5225$$

Nilai Cd di atas menggunakan persamaan regresi pada grafik hubungan Re dan Cd. Persamaan regresi pada gambar 4.4 hanya berlaku pada kisaran angka Reynolds 1140 sampai 8400. Nilai *coefficient of discharge* (Cd) yang telah didapatkan, selanjutnya mencari nilai debit air *orifice* ( $Q_{orifice}$ ) menggunakan persamaan (2.10).

$$Q_{orifice} = C_d Q_{ideal}$$

$$Q_{orifice} = 0,5225 \times 5,082 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$Q_{orifice} = 2,66 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

#### 4.4 Pembahasan

Hasil perhitungan yang sudah dibuat kemudian disajikan dalam bentuk grafik.

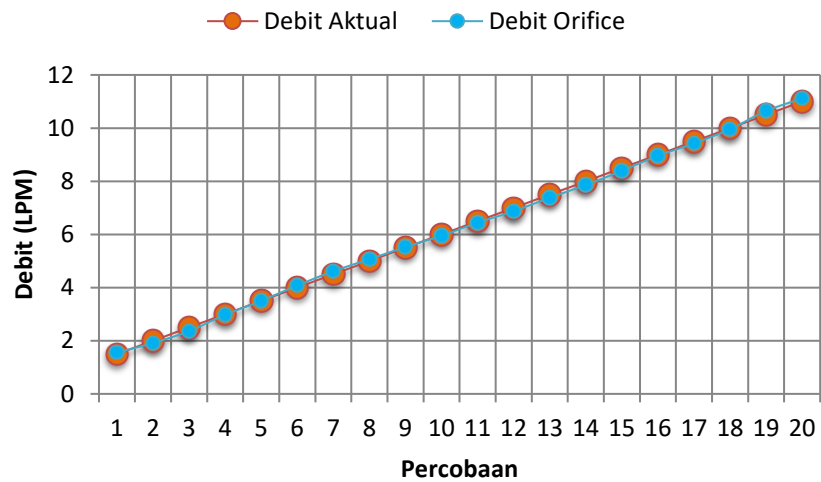
##### 4.4.1 Perbandingan Debit *Orifice* ( $Q_{orifice}$ ) dengan Debit Aktual pada Pipa ½ inch

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Debit *Orifice* ( $Q_{orifice}$ ) pada Pipa ½ inch

Percobaan	Qaktual (LPM)	Qorifice (LPM)	$\Delta Q$ (LPM)	$\Delta Q$ (%)
1	1,5	1,56	0,06	4
2	2,0	1,91	0,09	4
3	2,5	2,36	0,14	5
4	3,0	2,97	0,03	1
5	3,5	3,50	0,00	0
6	4,0	4,08	0,08	2
7	4,5	4,62	0,12	3
8	5,0	5,06	0,06	1
9	5,5	5,53	0,03	0
10	6,0	5,95	0,05	1
11	6,5	6,44	0,06	1
12	7,0	6,87	0,13	2
13	7,5	7,38	0,12	2
14	8,0	7,86	0,14	2
15	8,5	8,39	0,11	1
16	9,0	8,96	0,04	0
17	9,5	9,42	0,08	1
18	10,0	9,96	0,04	0
19	10,5	10,64	0,14	1
20	11,0	11,12	0,12	1



Dari tabel 4.5 di atas, selanjutnya data debit hasil perhitungan ( $Q_{orifice}$ ) dan debit aktual ( $Q_{aktual}$ ) dibuat dalam bentuk grafik perbandingan. Grafik perbandingan antara debit aktual dan debit *orifice* hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Grafik Antara  $Q_{aktual}$  dan  $Q_{orifice}$  Pipa ½ inch

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa perbedaan debit aktual yang terbaca rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan hampir sama. Penyimpangan yang terjadi antara debit aktual terbaca rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan paling tinggi sebesar 5%. Faktor yang menyebabkan nilai penyimpangan sebesar itu dikarenakan waktu pengambilan data percobaan ketiga pompa saat itu mengalami ketidakstabilan karena umur pompa yang lama jadi efisiensinya terjadi fluktuatif. Selisih tertinggi antara debit aktual dan debit *orifice* yaitu sebesar 0,14 LPM pada percobaan ketiga.

4.4.2 Perbandingan Debit *Orifice* ( $Q_{orifice}$ ) dengan Debit Aktual pada Pipa 1 inch

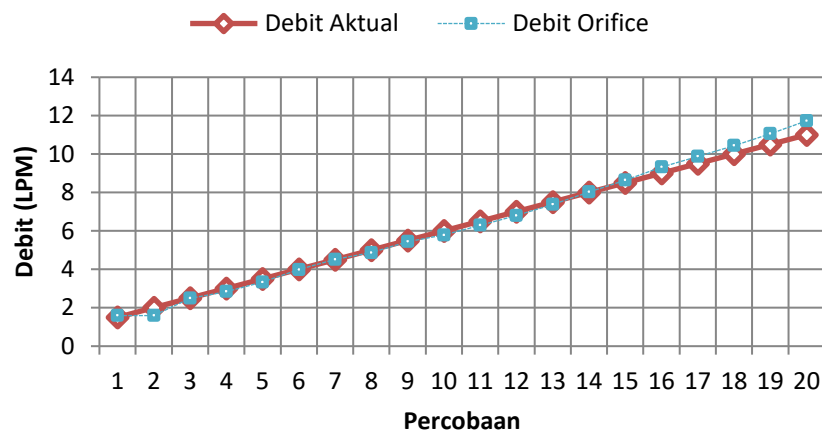
**Tabel 4.6** Hasil Perhitungan Debit *Orifice* ( $Q_{orifice}$ ) pada Pipa 1 inch

Percobaan	Qaktual (LPM)	Qorifice (LPM)	$\Delta Q$ (LPM)	$\Delta Q$ (%)
1	1,5	1,59	0,09	6
2	2,0	1,59	0,41	20
3	2,5	2,49	0,01	0
4	3,0	2,84	0,16	5
5	3,5	3,34	0,16	5
6	4,0	3,99	0,01	0
7	4,5	4,51	0,01	0
8	5,0	4,87	0,13	3
9	5,5	5,44	0,06	1
10	6,0	5,79	0,21	4
11	6,5	6,29	0,21	3
12	7,0	6,80	0,20	3
13	7,5	7,37	0,13	2
14	8,0	8,03	0,03	0
15	8,5	8,64	0,14	2
16	9,0	9,33	0,33	4
17	9,5	9,87	0,37	4
18	10,0	10,44	0,44	4
19	10,5	11,06	0,56	5
20	11,0	11,73	0,73	7

Dari tabel 4.6 di atas, selanjutnya data debit hasil perhitungan ( $Q_{orifice}$ ) dan debit aktual ( $Q_{aktual}$ ) dibuat dalam bentuk grafik perbandingan. Grafik perbandingan antara debit aktual yang terbaca

rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 4.6.

Pada percobaan 1 LPM debit aktual yang terbaca rotameter tidak dimasukan dikarenakan nilai beda tekanan yang kecil sehingga pada persamaan regresi mencari angka Reynold dan Cd tidak ada hasilnya, maka diasumsikan debit aktual dan debit *orifice* yaitu sama sebesar 1 LPM.



**Gambar 4.6** Grafik Antara  $Q_{\text{aktual}}$  dan  $Q_{\text{orifice}}$  Pipa 1 inch

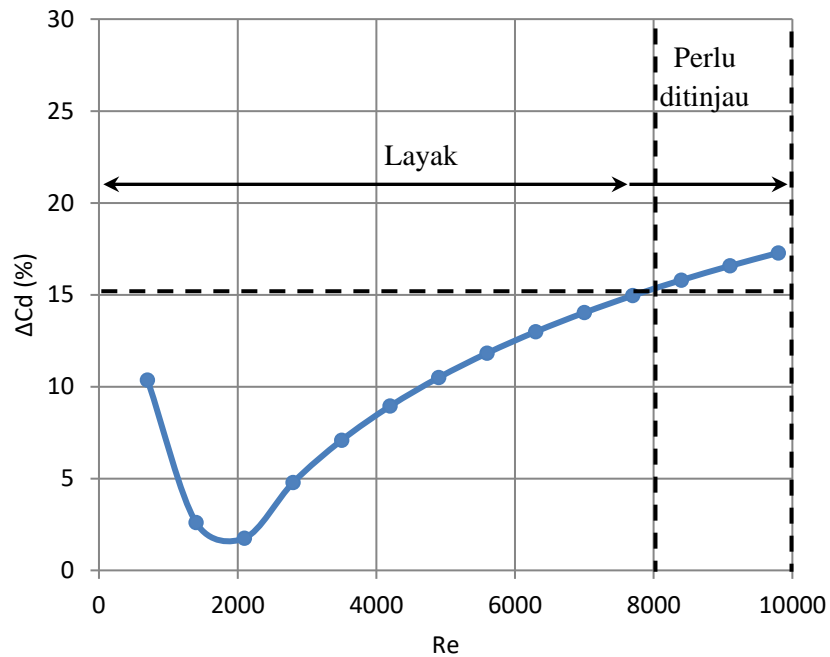
Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa perbedaan debit aktual yang terbaca rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan hampir sama. Penyimpangan yang terjadi antara debit aktual terbaca rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan paling tinggi sebesar 20%. Faktor yang menyebabkan nilai penyimpangan sebesar itu dikarenakan pada saat debit rendah, pembacaan nilai beda tekanan di manometer U sulit dibaca sebab lubang *pressure tap* pada sisi *upstream* dan sisi *downstream* seharusnya menggunakan *vena contracta tap*. Hal lain mempengaruhi nilai penyimpangan sebesar itu karena usia pompa yang sudah terbilang lama. Selisih tertinggi antara debit aktual dan debit *orifice* pada percobaan 20 yaitu sebesar 0,73 LPM.

#### 4.4.3 Memprediksi Debit Aktual ( $Q_{\text{aktual}}$ ) pada Pipa 1 inch

**Tabel 4.7** Hasil Perhitungan Nilai  $Cd_{1\text{inch}}$  dan  $Cd_{0.5\text{inch}}$

Re	$Cd_{1\text{inch}}$	$Cd_{0.5\text{inch}}$	$\Delta Cd$	$\Delta Cd$ (%)
1000	0,520	0,555	0,035	6
1500	0,553	0,563	0,010	2
2000	0,576	0,569	0,007	1
2500	0,594	0,573	0,021	4
3000	0,608	0,577	0,032	5
3500	0,621	0,580	0,041	7
4000	0,631	0,582	0,049	8
4500	0,641	0,585	0,056	10
5000	0,649	0,587	0,063	11
5500	0,657	0,589	0,069	12
6000	0,664	0,590	0,074	13
6500	0,670	0,592	0,079	13
7000	0,676	0,593	0,083	14
7500	0,682	0,595	0,087	15
8000	0,687	0,596	0,091	15
8500	0,692	0,597	0,095	16

Pada tabel di atas, setelah nilai koefisien *discharge* pada pipa ½ dan 1 inch didapatkan, lalu dihitung kembali dengan persamaan regresi yang dapat dilihat pada grafik Re terhadap Cd tiap masing-masing ukuran pipa. Sesudah menghitung dengan persamaan regresi, lalu menghitung selisih antara koefisien *discharge* pipa 1 inch ( $Cd_{1\text{inch}}$ ) dan koefisien *discharge* pipa ½ inch ( $Cd_{0.5\text{inch}}$ ) yang disajikan dalam bentuk tabel hasil perhitungan kembali nilai Cd masing-masing pipa.



**Gambar 4.7** Grafik Perbandingan Re Terhadap  $\Delta C_d$

Keterangan:

$$\Delta C_d = -5 \cdot 10^{-9}(Re^2) + 0,002(Re) + 0,2778$$

$$R^2 = 0,905$$

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa nilai  $\Delta C_d$  mengalami penurunan signifikan pada  $Re = 0 - 2000$ , kemudian naik secara perlahan. Dengan mengasumsikan nilai deviasi koefisien discharge  $\leq 15\%$  maka nilai koefisien discharge pada kedua pipa dianggap sama ( $C_{d_{1inch}} = C_{d_{0.5inch}}$ ). Terlihat pada gambar bahwa  $Re > 8000$  melebihi  $15\%$  koefisien discharge nya dan perlu ditinjau kembali pada  $Re$  tersebut. Jika asumsi  $C_{d_{1inch}} = C_{d_{0.5inch}}$  dianggap sama maka untuk menghitung debit air pada ukuran pipa berbeda tetapi rasio beta sama dapat menggunakan persamaan (4.1):

$$\frac{Q_{aktual,1''}}{Q_{ideal,1''}} = C_{d_{1''}} = C_{d_{0.5''}} = \frac{Q_{aktual,0.5''}}{Q_{ideal,0.5''}} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan:  $Q_{aktual,0.5''}$  = debit aktual pada pipa 1/2 inch ( $m^3/s$ )

- $Q_{ideal,0.5''}$  = debit ideal pada pipa ½ inch (m<sup>3</sup>/s)
- $Cd_{0.5''}$  = *coefficient of discharge* pipa ½ inch
- $Q_{aktual,1''}$  = debit aktual pada pipa 1 inch (m<sup>3</sup>/s)
- $Q_{ideal,1''}$  = debit ideal pada pipa 1 inch (m<sup>3</sup>/s)
- $Cd_{1''}$  = *coefficient of discharge* pipa 1 inch

Pada persamaan (4.1) ini digunakan untuk menghitung debit aktual ( $Q_{aktual}$ ) pada pipa 1 inch. Data diambil dari percobaan kedua pada masing-masing pipa. Berikut ini contoh perhitungan prediksi debit aktual ( $Q_{aktual}$ ) pada pipa 1 inch:

$$Q_{prediksi,1''} = Cd_{0.5''} \times Q_{ideal,1''} \dots\dots\dots(4.2)$$

- Dengan:  $Q_{prediksi,1''}$  = debit prediksi pada pipa 1 inch (m<sup>3</sup>/s)
- $Cd_{0.5''}$  = *coefficient of discharge* pipa ½ inch
- $Q_{ideal,1''}$  = debit ideal pada pipa 1 inch (m<sup>3</sup>/s)

Untuk menghitung  $Q_{prediksi}$  pada pipa 1 inch dapat menggunakan persamaan (4.2):

$$Q_{prediksi,1''} = Cd_{0.5''} \times Q_{ideal,1''}$$

$$Q_{prediksi,1''} = 0,5597 \times 5,082 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{prediksi,1''} = 2,844 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{prediksi,1''} = 1,71 \text{ LPM}$$

Perhitungan debit prediksi pada pipa 1 inch di atas memiliki perselisihan dengan debit *orifice* hasil perhitungan sebesar 0,11 LPM. Setelah selesai dihitung, maka hasil perhitungan debit prediksi pada pipa 1 inch diolah menjadi tabel yang dapat dilihat pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil Perhitungan Debit Prediksi Pipa 1 inch

No	Q <sub>aktual,1"</sub> (LPM)	Q <sub>ideal,1"</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Cd <sub>0.5"</sub>	Q <sub>prediksi,1"</sub> (LPM)	ΔQ	
					LPM	%
1	1,5	0,00005082	0,5597	1,71	0,21	14
2	2,0	0,00005082	0,5659	1,73	0,27	14
3	2,5	0,00007187	0,5712	2,46	0,04	1
4	3,0	0,00008036	0,5763	2,78	0,22	7
5	3,5	0,00009232	0,5797	3,21	0,29	8
6	4,0	0,00010781	0,5828	3,77	0,23	6
7	4,5	0,00012027	0,5852	4,22	0,28	6
8	5,0	0,00012857	0,5871	4,53	0,47	9
9	5,5	0,00014194	0,5888	5,01	0,49	9
10	6,0	0,00014991	0,5902	5,31	0,69	12
11	6,5	0,00016152	0,5917	5,73	0,77	12
12	7,0	0,00017310	0,5930	6,16	0,84	12
13	7,5	0,00018604	0,5943	6,63	0,87	12
14	8,0	0,00020073	0,5955	7,17	0,83	10
15	8,5	0,00021442	0,5968	7,68	0,82	10
16	9,0	0,00022955	0,5980	8,23	0,77	9
17	9,5	0,00024161	0,5990	8,68	0,82	9
18	10,0	0,00025411	0,6000	9,15	0,85	9
19	10,5	0,00026748	0,6013	9,65	0,85	8
20	11,0	0,00028210	0,6021	10,19	0,81	7

Tabel di atas menunjukkan bahwa selisih atau perbedaan tertinggi dari debit aktual dengan debit prediksi sebesar 14 %. Maka dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa plat *orifice* dengan rasio beta 0,4 mampu digunakan untuk memprediksi debit pada diameter pipa yang berbeda walaupun terjadi selisih mencapai 14 %.

#### 4.4.4 Menampilkan Hasil Penelitian Pratama dan Sekarang

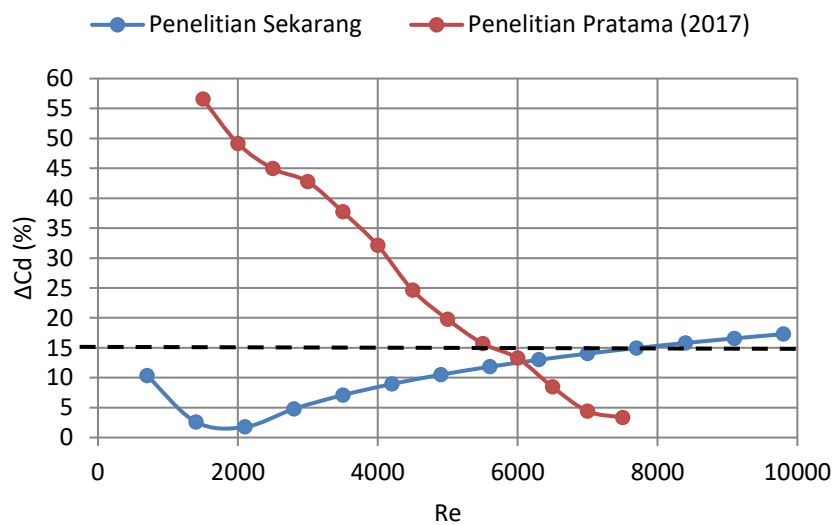
Penelitian *orifice plate meter* ini memiliki beberapa perbedaan dengan penelitian Pratama (2017). Penelitian yang dilakukan oleh Pratama (2017) menggunakan rasio beta yang sama yaitu sebesar 0,4. Berikut perbedaan antara kedua penelitian yang disajikan dalam tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Perbedaan antara penelitian Sekarang dan Pratama (2017)

No	Penelitian Ini	Penelitian Pratama (2017)
1	Rasio beta sebesar 0,4	Rasio beta sebesar 0,4
2	Alat ukur beda tekanan menggunakan manometer U	Alat ukur beda tekanan menggunakan <i>differential pressure gauge</i>
3	<i>Pressure taps</i> menggunakan jenis <i>radius taps</i>	<i>Pressure taps</i> yang digunakan tidak ada acuannya
4	Kelayakan ( $\Delta C_d < 15\%$ ) pada Re: 0 sampai 8000	Kelayakan ( $\Delta C_d < 15\%$ ) pada Re: 5500 sampai 7500
5	Pipa PVC yang digunakan $\frac{1}{2}$ inch dan 1 inch	Pipa PVC yang digunakan $\frac{1}{2}$ inch dan $\frac{3}{4}$ inch



Tabel 4.9 adalah tabel perbedaan antara penelitian ini dan Pratama (2017). Perbedaan ini dapat mempengaruhi hasil penelitian yang didapat. Pengaruh yang paling signifikan adalah bedanya pipa yang digunakan dan lubang tekanan pada *flange* (*pressure taps*). Jadi, penulis hanya menampilkan hasil kedua penelitian ini dan tidak dapat dijadikan sebagai perbandingan. Hasil kedua penelitian ini disajikan ke dalam bentuk grafik pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Grafik  $\Delta C_d$  Antara Penelitian ini dan Pratama (2017)

Grafik di atas menunjukkan bahwa perbedaan antara penelitian ini dan terdahulu. Perbedaan yang terjadi ketika nilai  $\Delta C_d$  pada penelitian terdahulu yang secara perlahan turun dikarenakan angka Reynolds yang semakin meningkat, sedangkan penelitian sekarang yang pada awalnya turun kemudian naik lagi secara perlahan. Faktor yang mempengaruhi perbedaan ini adalah alat ukur tekanan yang digunakan dan jenis *pressure taps* (lubang tekanan pada flange).

Diameter pipa yang digunakan pada penelitian terdahulu adalah  $\frac{1}{2}$  inch dan  $\frac{3}{4}$  inch, sedangkan penelitian sekarang menggunakan diameter pipa  $\frac{1}{2}$  inch dan 1 inch dengan rasio beta yang sama.

Berbedanya ukuran diameter pipa sangat berpengaruh pada angka Reynolds,  $\Delta p$ , dan  $\Delta C_d$ . Sehingga sangat jauh sekali untuk membandingkan hasil penelitian tahun lalu dan tahun ini. Berikut ini hasil layak-tidaknya berdasarkan nilai  $\Delta C_d$  disajikan dalam table 4.10.

**Tabel 4.10** Hasil kelayakan antara  $\Delta C_d$  dan Re

No	Max $\Delta C_d$ (%)	Range Re	
		Penelitian Ini	Pratama (2017)
1	2,5	1500 – 2000	7500 >
2	5	1500 – 3000	7000 – 7500
3	7,5	0 – 3500	6700 – 7500
4	10	0 – 4500	6500 – 7500
5	12,5	0 – 5500	6200 – 7500
6	15	0 – 8000	5500 – 7500