

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai hasil penelitian dengan berbagai variasi yang telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan plat *orifice* rasio d/D yang sama pada dua ukuran pipa yang berbeda, guna mengetahui pengaruh menggunakan rasio yang sama pada dua ukuran pipa yang berbeda. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan debit air yang masuk melewati plat *orifice* menggunakan rotameter, lalu mengamati perubahan tekanan yang terjadi pada setiap pipa. Hasil pengamatan beda tekanan yang berbeda tiap pipa digunakan untuk mencari nilai Δp , \dot{V}_{ideal} , \dot{V}_{aktual} kemudian dihitung dengan persamaan-persamaan tertentu untuk mendapatkan nilai *coefficient of discharge* (C_d). Hasil perhitungan dengan memvariasi debit air yang masuk ke plat *orifice* dibuat dalam bentuk tabel dan grafik untuk selanjutnya dianalisa.

1.1 Perhitungan *Fully Developed*

Perhitungan *fully developed* ini dilakukan saat perancangan alat uji. Perhitungan *fully developed* dilakukan guna untuk menentukan posisi *flange orifice*.

Diketahui : D_1 : 18,2 mm = 0,0182 m
 D_2 : 21,6 mm = 0,0216 m
 Re : 2100

Perhitungan *fully developed* pada pipa ½ inch.

$$l_l/D = 0,06 \cdot Re$$

$$l_l/0,0182 = 0,06 \cdot 2100$$

$$l_l = 0,06 \cdot 2100 \cdot 0,0182$$

$$l_l = 2,3 \text{ m}$$

Perhitungan *fully developed* pada pipa $\frac{3}{4}$ inch.

$$l_i/D = 0,06. Re$$

$$l_i/0,0216 = 0,06.2100$$

$$l_i = 0,06. 2100 .0,0216$$

$$l_i = 2,7 \text{ m}$$

1.2 Hasil Penelitian

4.4.1 Data hasil penelitian pada Pipa PVC $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ Inch

Berikut adalah hasil pengambilan data pada saat pengujian dengan memvariasikan debit air. Hasil pengambilan data dapat dilihat pada table 4.1 dan 4.2. :

Dari tabel 4.1 dan 4.2 dapat diketahui setiap pengambilan 1 data dengan variasi debit air yang terbaca di rotameter yaitu 1 sampai 11 LPM dilakukan sebanyak 10 kali pengambilan data yang selanjutnya diambil rata-rata. Hasil pengambilan data tersebut lalu dimasukkan dalam perhitungan untuk mencari *coefficient of discharge* (Cd) yang selanjutnya dianalisa.

Keterangan:

\dot{V}_{air} = Debit aliran air yang masuk plat *orifice* (LPM)
 Δp = Beda tekanan air masuk dan keluar *orifice* (kN/m²)

Tabel 4. 1 Data pada pipa ½ inch

Percobaan	\dot{V}_{air} (LPM)	ΔP (N/m ²)										ΔP Rata-rata (N/m ²)
		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10	
1	1	2200	2100	1900	2000	2100	1900	2300	2800	2800	2500	2260
2	1,5	2300	2300	2200	2400	2300	2200	2700	3100	3000	2900	2540
3	2	2300	2600	2500	2500	2600	2400	2800	3300	3200	3000	2720
4	2,5	2600	2900	2800	2900	2900	2700	3200	3600	3500	3500	3060
5	3	3000	3300	3300	3200	3600	3200	4200	4000	4000	3900	3570
6	3,5	3400	3600	3300	3600	3700	3800	4400	4600	4500	4200	3910
7	4	4000	4100	4200	4000	4300	4000	4800	5000	5100	4700	4420
8	4,5	4900	4500	4700	4700	4500	4700	5700	5700	5400	5500	5030
9	5	5000	5200	5300	5400	5700	5500	6200	6100	6100	6100	5660
10	5,5	5400	6000	6100	6300	6400	6100	6500	7000	6700	6700	6320
11	6	5900	6800	6700	6900	6900	6900	7500	7400	7500	7100	6960
12	6,5	7000	7300	7200	8600	7800	7600	8300	8300	8100	7100	7730
13	7	9700	7900	8400	9100	8500	8100	8700	9000	8600	8200	8620
14	7,5	10000	9000	9500	10000	10600	9000	10500	10000	10900	10500	10000
15	8	11500	11200	10600	11000	11400	10200	11300	10800	11100	11000	11010
16	8,5	12000	12100	11300	11700	12600	14800	12100	12300	13000	11900	12380
17	9	15700	15900	16700	16200	14300	15800	14500	14400	15800	15000	15430
18	9,5	18600	18900	19900	17800	18900	17200	17100	18500	19200	18800	18490
19	10	19600	19700	20200	18500	20500	20900	20400	21900	21300	20700	20370
20	10,5	22000	22700	22900	20800	23400	23400	23200	23200	24300	22500	22840
21	11	28000	27000	29,3	27700	24500	24000	24100	26000	25500	25300	23212,93

Tabel 4. 2 Data pada pipa ¾ inch

Percobaan	\dot{V}_{air} (LPM)	ΔP (N/m ²)										ΔP Rata-rata (N/m ²)
		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10	
1	1	500	200	100	200	200	200	300	200	200	200	230
2	1,5	600	300	200	200	200	300	300	300	300	500	320
3	2	700	500	600	300	400	500	400	400	400	500	470
4	2,5	700	800	700	400	400	600	400	700	500	700	590
5	3	800	800	700	600	500	900	700	900	500	800	720
6	3,5	1500	1200	800	800	600	1100	800	1200	900	800	970
7	4	1600	1500	1100	1200	900	1400	1100	1500	1000	1300	1260
8	4,5	2000	1900	1700	1600	1100	1600	1800	1900	1600	1900	1710
9	5	2500	2400	2100	2000	1400	2300	2100	2300	2000	2500	2160
10	5,5	3300	3000	2600	2700	1600	2500	2500	2900	2400	2900	2640
11	6	3600	3200	3200	3000	2300	3100	3000	3300	3100	3300	3110
12	6,5	4100	3600	3700	3400	2500	4800	3600	4100	4000	4000	3780
13	7	4900	4400	4400	3800	3100	5000	4200	5100	4700	4800	4440
14	7,5	5400	4900	5100	4600	4800	5000	5000	5100	5000	5300	5020
15	8	6600	5600	7000	5800	5600	5300	5600	5400	5600	5900	5840
16	8,5	7100	6900	7100	6100	6400	6000	6500	6400	6500	6400	6540
17	9	7900	7600	7900	7600	6800	6600	6800	7000	6900	7000	7210
18	9,5	8200	8400	8200	8000	8000	7500	7800	7700	7400	7700	7890
19	10	9000	9000	8800	8500	8600	8500	8300	8600	8500	8100	8590
20	10,5	10500	10500	10100	10400	11000	10900	10300	10500	10900	11300	10640
21	11	11000	12000	11900	11800	11900	11400	11900	11500	11500	12100	11700

1.3 Perhitungan

4.3.1 Perhitungan *Coefficient of Discharge* (Cd) pada Pipa PVC ½ Inch

Sebagai contoh penulis mengambil salah satu data dari tabel 4.1 yaitu pada percobaan satu dengan \dot{V}_{air} 1 LPM dengan data sebagai berikut:

Diketahui :	D_1	: 18,2 mm = 0,0182 m
	d_2	: 7,2 mm = 0.0072 m
	μ_{Air}	: 0,001 N.s/m ²
	ρ_{Air}	: 1000 Kg/m ³
	A_1	: $2,60 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
	A_2	: $4,07 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
	ΔP	: 2260 Pa

Pada perhitungan satuan yang digunakan adalah satuan SI, maka satuan debit perlu dikonversi terlebih dulu menjadi satuan SI, dimana 1 LPM setara dengan $1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Maka:

$$v = \frac{(1,667 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s}}{A_1}$$

$$v = \frac{(1,667 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s}}{2,60 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,064 \text{ m/s}$$

Setelah nilai v didapatkan, selanjutnya adalah menentukan bilangan Reynolds dengan menggunakan persamaan (2.28) :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,064 \text{ m/s} \times 0,0182 \text{ m})}{0,001 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 1165,97$$

Untuk mendapatkan nilai V_{Ideal} dapat diketahui dengan persamaan (2.19) yaitu :

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

$$\dot{V}_{ideal} = 4,07 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{1000 \text{ kg/m}^3}} \cdot \sqrt{2260 \text{ N/m}^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{4,07 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{2,60 \times 10^{-4} \text{ m}^2}\right)^2}}$$

$$\dot{V}_{ideal} = 8,76 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah mengetahui nilai \dot{V}_{ideal} maka selanjutnya menentukan nilai *coefficient of discharge* (Cd), dengan \dot{V}_{aktual} adalah ditentukan langsung dari pembacaan rotameter. Menggunakan persamaan (2.20) yaitu :

$$\dot{V}_{aktual} = Cd \cdot \dot{V}_{ideal}$$

$$Cd = \frac{\dot{V}_{aktual}}{\dot{V}_{ideal}}$$

$$Cd = \frac{1,67 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{8,76 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$Cd = 0,190$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $v_{orifice}$, Re, \dot{V}_{ideal} , \dot{V}_{aktual} dan *coefficient of discharge* (Cd). Hasil lengkap dari perhitungan pada pipa PVC ½ inch ditampilkan dalam lampiran 1.

4.3.2 Perhitungan Debit Orifice ($\dot{V}_{orifice}$) pada pipa PVC ½ Inch

Sebagai contoh penulis mengambil salah satu data dari lampiran 1 yaitu pada percobaan satu dengan \dot{V}_{air} 1 LPM dengan data sebagai berikut:

Diketahui :	\dot{V}_{air}	: 1 LPM = $1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
	\dot{V}_{ideal}	: $8,764 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
	Re	: 1165,97

Untuk nilai Cd dihitung menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap Cd pada pipa ½ Inch yang dapat dilihat pada gambar 4.2.

$$Cd = 0,205 \times \ln(Re) - 1,2181$$

$$Cd = 0,205 \times \ln(1165,97) - 1,2181$$

$$Cd = 0,229$$

Setelah mengetahui nilai coefficient of discharge (Cd) maka selanjutnya menentukan debit orifice ($\dot{V}_{orifice}$). Menggunakan persamaan 2.20.

$$\dot{V}_{orifice} = Cd \cdot \dot{V}_{ideal}$$

$$\dot{V}_{orifice} = 0,229 \times 8,764 \times 10^{-5}$$

$$\dot{V}_{aktual} = 2,01 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $\dot{V}_{orifice}$. Hasil lengkap dari perhitungan pada pipa PVC ½ inch ditampilkan dalam lampiran 2.

4.3.3 Perhitungan *Coefficient of Discharge* (Cd) pada Pipa PVC ¾ Inch

Sebagai contoh penulis mengambil salah satu data dari tabel 4.2 yaitu pada percobaan satu dengan \dot{V}_{air} 1 LPM dengan data sebagai berikut:

Diketahui :	D_1	: 21,6 mm = 0,0216 m
	d_2	: 8,5 mm = 0,0085 m
	μ_{Air}	: 0,001 N.s/m ²
	ρ_{Air}	: 1000 Kg/m ³
	A_1	: $3,66 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
	A_2	: $5,67 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
	ΔP	: 230 Pa

Pada perhitungan satuan yang digunakan adalah satuan SI, maka satuan debit perlu dikonversi terlebih dulu menjadi satuan SI, dimana 1 LPM setara dengan $1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Maka:

$$v = \frac{(1,67 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s}}{A_1}$$

$$v = \frac{(1,67 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s}}{3,66 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,045 \text{ m/s}$$

Setelah nilai v didapatkan, selanjutnya adalah menentukan bilangan Reynolds dengan menggunakan persamaan (2.28) :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1000 \text{ Kg/m}^3 \times 0,045 \text{ m/s} \times 0,0216 \text{ m})}{0,001 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 982,438$$

Untuk mendapatkan nilai \dot{V}_{ideal} dapat diketahui dengan persamaan (2.19) yaitu :

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

$$\dot{V}_{ideal} = 5,67 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{1000 \text{ Kg/m}^3} \cdot \sqrt{230 \text{ N/m}^2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{5,67 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{3,66 \times 10^{-4} \text{ m}^2}\right)^2}}$$

$$\dot{V}_{ideal} = 3,89 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Setelah mengetahui nilai \dot{V}_{ideal} maka selanjutnya menentukan nilai *coefficient of discharge* (Cd), dengan \dot{V}_{aktual} adalah ditentukan langsung dari pembacaan rotameter. Menggunakan persamaan (2.20) yaitu :

$$\dot{V}_{aktual} = Cd \cdot \dot{V}_{ideal}$$

$$Cd = \frac{\dot{V}_{aktual}}{\dot{V}_{ideal}}$$

$$Cd = \frac{1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{3,89 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$Cd = 0,427$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $v_{orifice}$, Re, \dot{V}_{ideal} , \dot{V}_{aktual} dan *coefficient of discharge* (Cd). Hasil lengkap dari perhitungan pada pipa PVC ¾ inch ditampilkan dalam lampiran 2.

4.3.4 Perhitungan Debit Orifice (\dot{V}_{orifice}) pada pipa PVC $\frac{3}{4}$ Inch

Sebagai contoh penulis mengambil salah satu data dari lampiran 1 yaitu pada percobaan satu dengan \dot{V}_{air} 1 LPM dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \dot{V}_{\text{air}} & : 1 \text{ LPM} = 1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{V}_{\text{ideal}} & : 3,896 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Re} & : 982,438 \end{aligned}$$

Untuk nilai Cd dihitung menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap Cd pada pipa $\frac{3}{4}$ Inch yang dapat dilihat pada gambar 4.4.

$$Cd = 6 \times 10^{-9} Re^2 - 8 \times 10^{-5} Re - 0,467$$

$$Cd = 6 \times 10^{-9} \times 982,438^2 - 8 \times 10^{-5} \times 982,438 - 0,467$$

$$Cd = 0,54$$

Setelah mengetahui nilai coefficient of discharge (Cd) maka selanjutnya menentukan debit orifice (\dot{V}_{orifice}). Menggunakan persamaan 2.20.

$$\dot{V}_{\text{orifice}} = Cd \cdot \dot{V}_{\text{ideal}}$$

$$\dot{V}_{\text{orifice}} = 0,54 \times 3,896 \times 10^{-5}$$

$$\dot{V}_{\text{orifice}} = 2,103 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai \dot{V}_{orifice} . Hasil lengkap dari perhitungan pada pipa PVC $\frac{3}{4}$ inch ditampilkan dalam lampiran .

4.4 Pembahasan

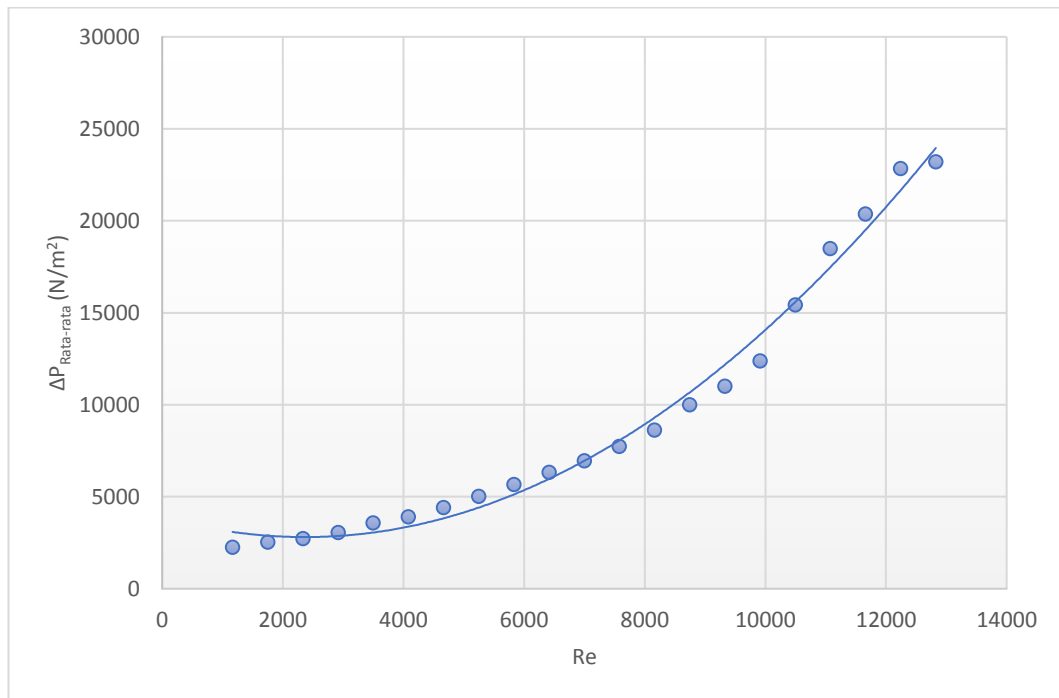
Perhitungan dan pencatatan hasil perhitungan yang sudah dilakukan kemudian disajikan dalam bentuk grafik. Hasil perhitungan bilangan Re, Δp dan Cd pada lampiran akan digabungkan. Tabel perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.3 dan table 4.4.

4.4.1 Re, ΔP dan Cd Pada Pipa ½ Inch

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan Re, ΔP dan Cd pada pipa ½ inch

Percobaan	\dot{V}_{air} (LPM)	Re	$\Delta P_{\text{Rata-rata}}$ (N/m ²)	Cd
1	1	1165,97	2260	0,19017
2	1,5	1748,96	2540	0,26907
3	2	2331,94	2720	0,34669
4	2,5	2914,93	3060	0,40858
5	3	3497,91	3570	0,45392
6	3,5	4080,9	3910	0,50603
7	4	4663,88	4420	0,54393
8	4,5	5246,87	5030	0,57362
9	5	5829,85	5660	0,60084
10	5,5	6412,84	6320	0,62546
11	6	6995,82	6960	0,65019
12	6,5	7578,81	7730	0,66837
13	7	8161,79	8620	0,68161
14	7,5	8744,78	10000	0,67804
15	8	9327,76	11010	0,68927
16	8,5	9910,75	12380	0,69064
17	9	10493,7	15430	0,65502
18	9,5	11076,7	18490	0,63161
19	10	11659,7	20370	0,63343
20	10,5	12242,7	22840	0,62811
21	11	12825,7	23212,93	0,65271

Dari tabel di atas, data Hubungan bilangan Reynolds (Re) terhadap Δp rata-rata dan hubungan bilangan Reynolds (Re) terhadap *coefficient of discharge* (Cd) pada pipa ½ inch disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2.



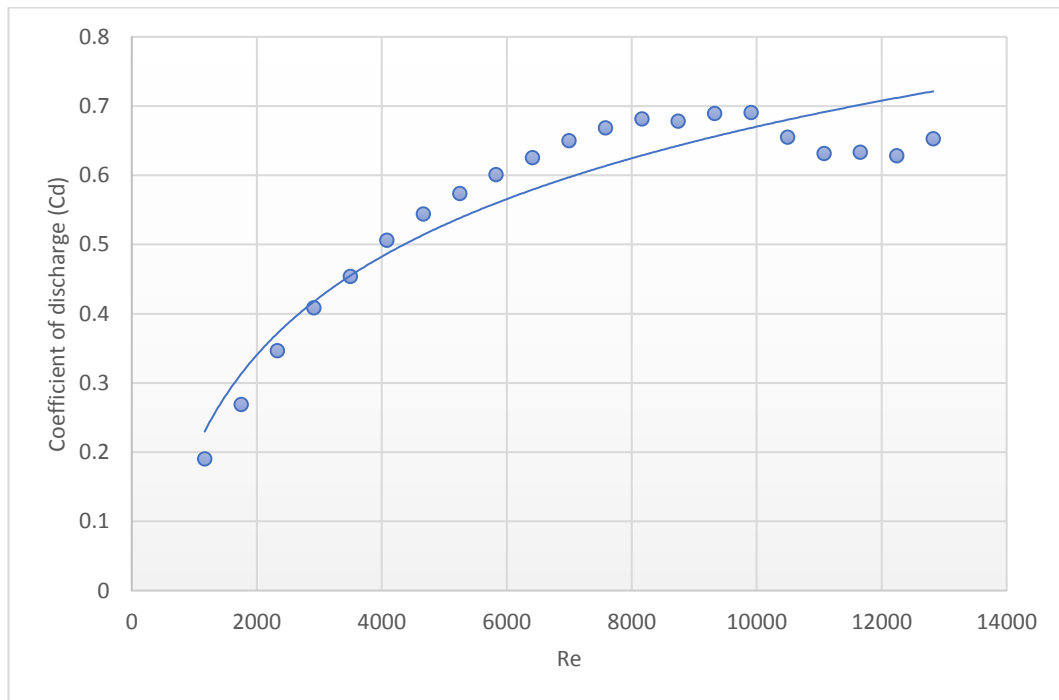
Gambar 4.1 Grafik Re terhadap $\Delta P_{rata-rata}$ pada pipa ½ inch

Keterangan :

$$\Delta P = 0,0002Re^2 - 0,9171Re + 3894$$

$$R^2 = 0,9887$$

Dari grafik hubungan bilangan Re terhadap ΔP yang ditunjukkan pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa bilangan Reynolds berbanding lurus dengan nilai beda tekanan. Semakin besar bilangan Reynolds, maka nilai beda tekanan akan cenderung naik. Kenaikan yang terjadi tidak selalu konstan akan tetapi tetap berada di area garis. Dari data tersebut didapatkan nilai ΔP terendah yaitu 2260 N/m² pada bilangan Reynolds 1165,970 dengan debit aktual yang terbaca di rotameter sebesar 1 LPM. Sedangkan Δp tertinggi yaitu 23212,93 N/m² pada bilangan Reynolds 12825,673 dengan debit aktual yang terbaca di rotameter sebesar 7 LPM.



Gambar 4. 2 Grafik Re terhadap Cd pada pipa ½ inch

Keterangan:

$$Cd = 0,205 \times \ln(Re) - 1,2181$$

$$R^2 = 0,8998$$

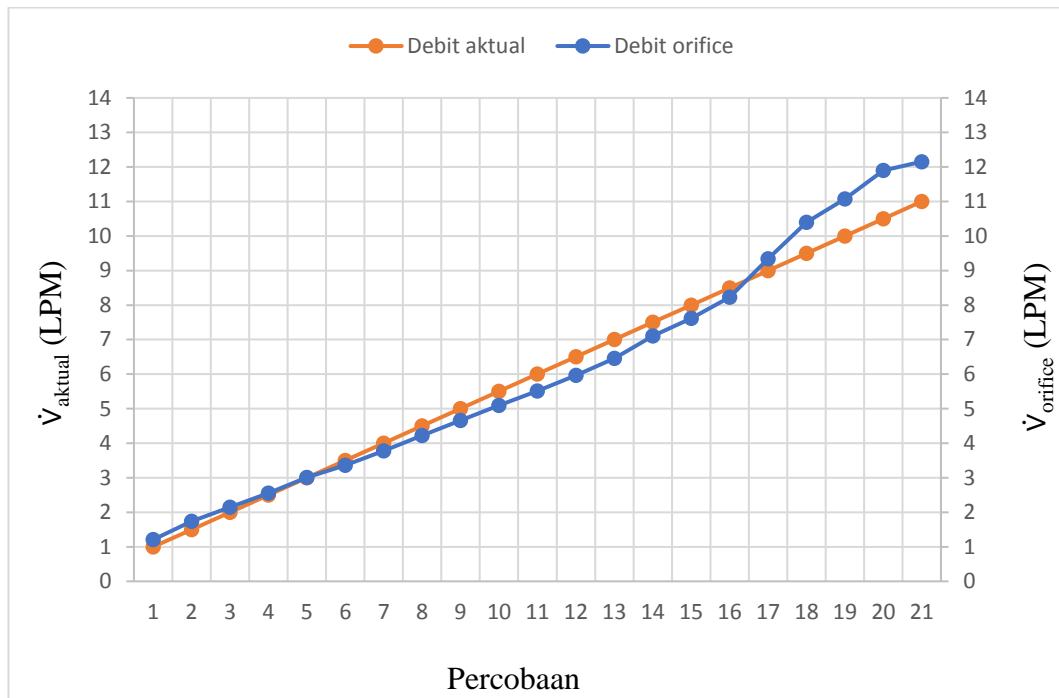
Untuk grafik bilangan Re terhadap nilai koefisien curah dapat dilihat pada gambar 4.2. Pada gambar 4.2 tersebut menunjukkan grafik yang fluktuatif, dimana nilai koefisien curah terus naik seiring kenaikan bilangan Reynolds. Nilai Cd pada 1 LPM yaitu 0,4278301 pada bilangan Reynolds 1165,970, sedangkan nilai Cd pada 11 LPM sebesar 0,652 pada bilangan Reynolds 12825,673. Pada bilangan Reynolds 10493,732 nilai koefisien curah mengalami penurunan, dan pada bilangan Reynolds 1169,702 nilai kembali naik, lalu kembali turun. hingga pada bilangan Reynolds 12825,673 nilai koefisien curahnya kembali mengalami kenaikan.

4.4.2 Debit Orifice (\dot{V}_{orifice}) pada pipa PVC ½ Inch

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan $\dot{V}_{orifice}$ pada pipa $\frac{1}{2}$ inch

Percobaan	\dot{V}_{aktual} (LPM)	$\dot{V}_{orifice}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (LPM)
1	1	1,207	0,171
2	1,5	1,743	0,243
3	2	2,143	0,143
4	2,5	2,553	0,053
5	3	3,005	0,005
6	3,5	3,363	0,137
7	4	3,777	0,223
8	4,5	4,219	0,281
9	5	4,655	0,345
10	5,5	5,091	0,409
11	6	5,507	0,493
12	6,5	5,963	0,537
13	7	6,453	0,547
14	7,5	7,107	0,393
15	8	7,611	0,389
16	8,5	8,224	0,276
17	9	9,342	0,342
18	9,5	10,393	0,893
19	10	11,075	1,075
20	10,5	11,894	1,394
21	11	12,151	1,151

Dari tabel di atas, data hubungan antara debit aktual yang terbaca di rotameter (\dot{V}_{aktual}) terhadap debit orifice ($\dot{V}_{orifice}$) disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik \dot{V}_{orifice} terhadap \dot{V}_{aktual} pada pipa $\frac{1}{2}$ inch

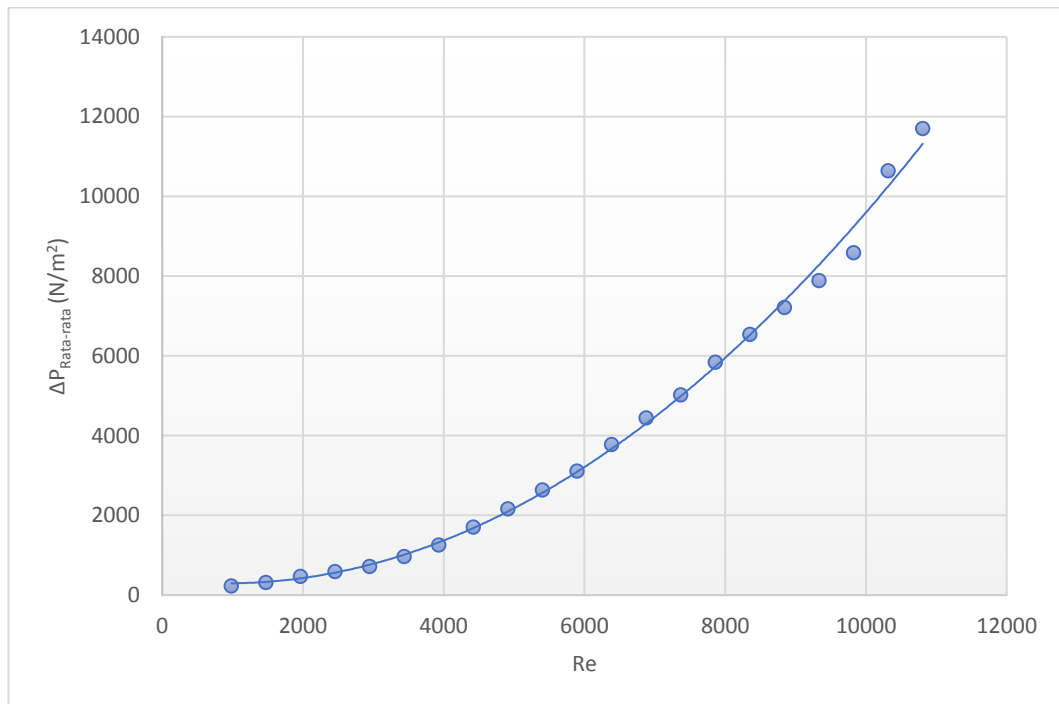
Dari grafik hubungan \dot{V}_{orifice} terhadap \dot{V}_{aktual} pada pipa $\frac{1}{2}$ inch yang ditunjukkan pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara debit orifice hasil perhitungan (\dot{V}_{orifice}) dengan debit aktual yang terbaca di rotameter (\dot{V}_{aktual}). Untuk \dot{V}_{orifice} nilainya berfluktuasi namun nilainya terus naik. Nilai penyimpangan terkecil terjadi pada percobaan ke 5 yaitu pada debit aktual 3 LPM dengan nilai debit orifice sebesar 3,005 LPM. Pada percobaan kelima penyimpangan yang terjadi sebesar 0,005 LPM. Untuk nilai penyimpangan tertinggi terjadi pada percobaan ke 20 yaitu pada debit aktual 11 LPM dengan nilai debit orifice sebesar 1,89451 LPM. Pada percobaan dengan debit aktual 1 LPM penyimpangan debit yang terjadi sebesar 1,394 LPM.

4.4.2 Re, ΔP dan Cd Pada Pipa $\frac{3}{4}$ Inch

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan Re, ΔP dan Cd pada pipa $\frac{3}{4}$ inch

Percobaan	\dot{V}_{air} (LPM)	Re	$\Delta P_{\text{Rata-rata}}$ (N/m^2)	Cd
1	1	982,438	230	0,42783
2	1,5	1473,66	320	0,54407
3	2	1964,88	470	0,59857
4	2,5	2456,09	590	0,6678
5	3	2947,31	720	0,72542
6	3,5	3438,53	970	0,72915
7	4	3929,75	1260	0,73116
8	4,5	4420,97	1710	0,70607
9	5	4912,19	2160	0,69804
10	5,5	5403,41	2640	0,69454
11	6	5894,63	3110	0,69808
12	6,5	6385,85	3780	0,68597
13	7	6877,07	4440	0,68162
14	7,5	7368,28	5020	0,68682
15	8	7859,5	5840	0,67923
16	8,5	8350,72	6540	0,68197
17	9	8841,94	7210	0,68772
18	9,5	9333,16	7890	0,69394
19	10	9824,38	8590	0,70007
20	10,5	10315,6	10640	0,66047
21	11	10806,8	11700	0,65983

Dari tabel di atas, data Hubungan bilangan *Reynolds* (Re) terhadap Δp rata-rata dan hubungan bilangan *Reynolds* (Re) terhadap *coefficient of discharge* (Cd) pada pipa $\frac{1}{2}$ inch disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.3 dan 4.4.



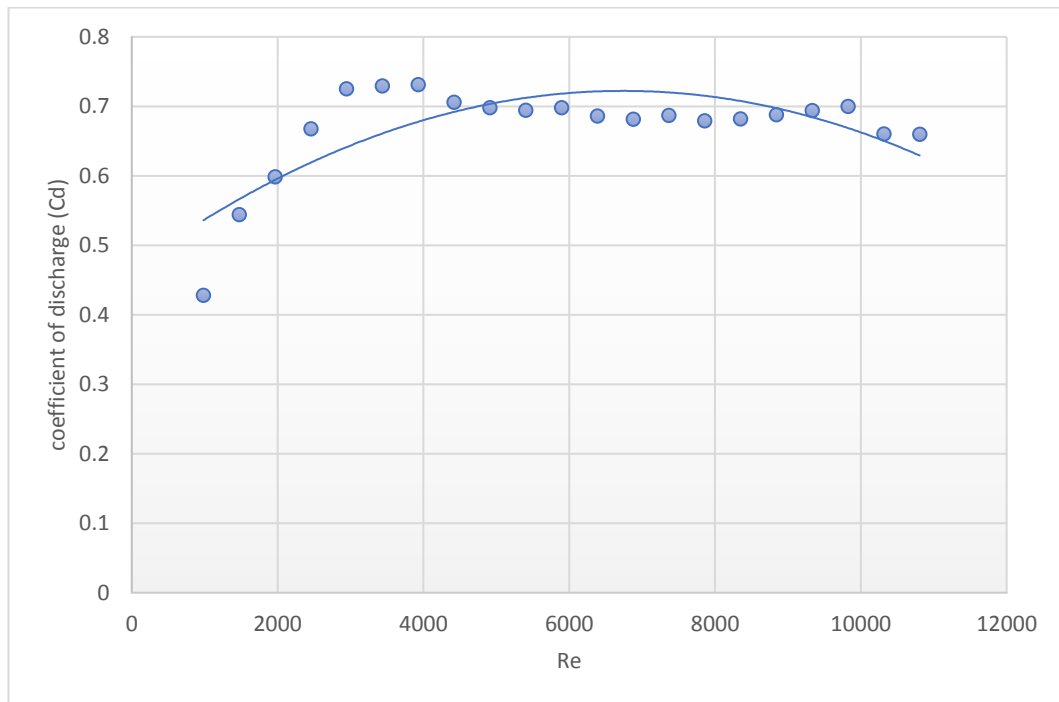
Gambar 4. 4 Grafik Re terhadap $\Delta P_{\text{rata-rata}}$ pada pipa $\frac{3}{4}$ inch

Keterangan :

$$\Delta p = 0,0001Re^2 - 0,2049Re + 388,45$$

$$R^2 = 0,9962$$

Pada grafik hubungan bilangan Re terhadap Δp yang ditunjukkan pada gambar 4.3, menunjukkan pola yang sama dengan grafik bilangan Re terhadap Δp pada pipa $\frac{1}{2}$ inch. Dimana bilangan Reynolds berbanding lurus dengan nilai beda tekanan. Semakin besar bilangan Reynolds, maka nilai beda tekanan akan cenderung naik. Kenaikan yang terjadi tidak selalu konstan akan tetapi tetap berada di area garis. Hasil Dari data tersebut didapatkan nilai Δp tertinggi yaitu 11700 N/m^2 pada bilangan Reynolds 10806,817 dengan debit aktual yang terbaca di rotameter sebesar 11 LPM. Untuk Δp terendah terjadi pada 1 LPM dengan nilai ΔP sebesar 230 N/m^2 pada angka Reynolds 982,438. Pada bilangan Reynolds 9824,379 hingga angka Reynolds 10315,598 nilai ΔP mengalami kenaikan yang cukup signifikan.



Gambar 4.5 Grafik Re terhadap Cd pada pipa $\frac{3}{4}$ inch

Keterangan :

$$C = 6 \times 10^{-9} Re^2 - 8 \times 10^{-5} Re + 0,467$$

$$R^2 = 0,6028$$

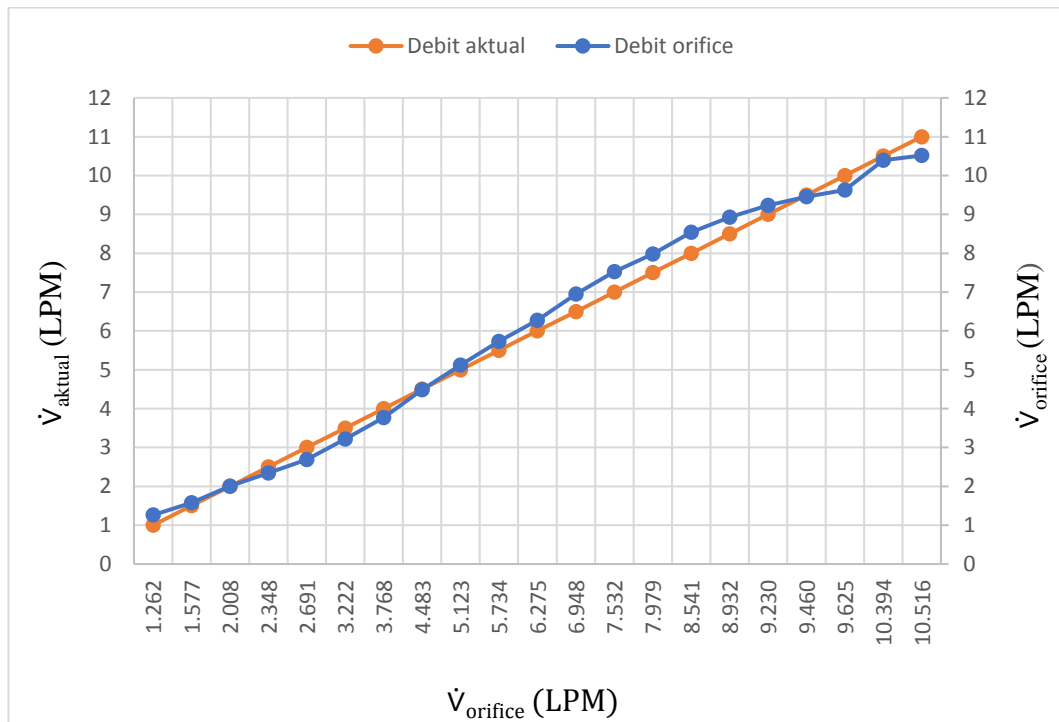
Untuk grafik bilangan Re terhadap nilai koefisien curah dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada gambar 4.3 tersebut menunjukkan nilai koefisien curah terus naik seiring kenaikan bilangan Reynolds hingga pada bilangan Reynolds tertentu nilai koefisien curah cenderung mengalami penurunan, namun penurunannya tidak terlalu signifikan. Berbeda dengan grafik Re terhadap koefisien curah pada pipa $\frac{1}{2}$ inch yang mengalami penurunan nilai koefisien curah pada bilangan Reynolds yang cukup tinggi yaitu 10493,732. Sedangkan grafik bilangan Re terhadap koefisien curah pada pipa $\frac{3}{4}$ inch, nilai koefisien curah sudah mengalami penurunan saat bilangan Reynolds mencapai 4420,970. Untuk bilangan Reynolds lebih dari 4420,970 grafik mengalami fluktuasi, namun cenderung mengalami penurunan.

4.4.3 Debit Orifice (\dot{V}_{orifice}) pada pipa PVC $\frac{3}{4}$ Inch

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan \dot{V}_{orifice} pada pipa $\frac{3}{4}$ inch

Percobaan	\dot{V}_{aktual} (LPM)	\dot{V}_{orifice} (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (LPM)
1	1	1,262	0,262
2	1,5	1,577	0,077
3	2	2,008	0,008
4	2,5	2,348	0,152
5	3	2,691	0,309
6	3,5	3,222	0,278
7	4	3,768	0,232
8	4,5	4,483	0,017
9	5	5,123	0,123
10	5,5	5,734	0,234
11	6	6,275	0,275
12	6,5	6,948	0,448
13	7	7,532	0,532
14	7,5	7,979	0,479
15	8	8,541	0,541
16	8,5	8,932	0,432
17	9	9,230	0,230
18	9,5	9,460	0,040
19	10	9,625	0,375
20	10,5	10,394	0,106
21	11	10,516	0,484

Dari tabel di atas, data Hubungan antara debit aktual yang terbaca di rotameter (\dot{V}_{aktual}) terhadap debit orifice (\dot{V}_{orifice}) disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.6.

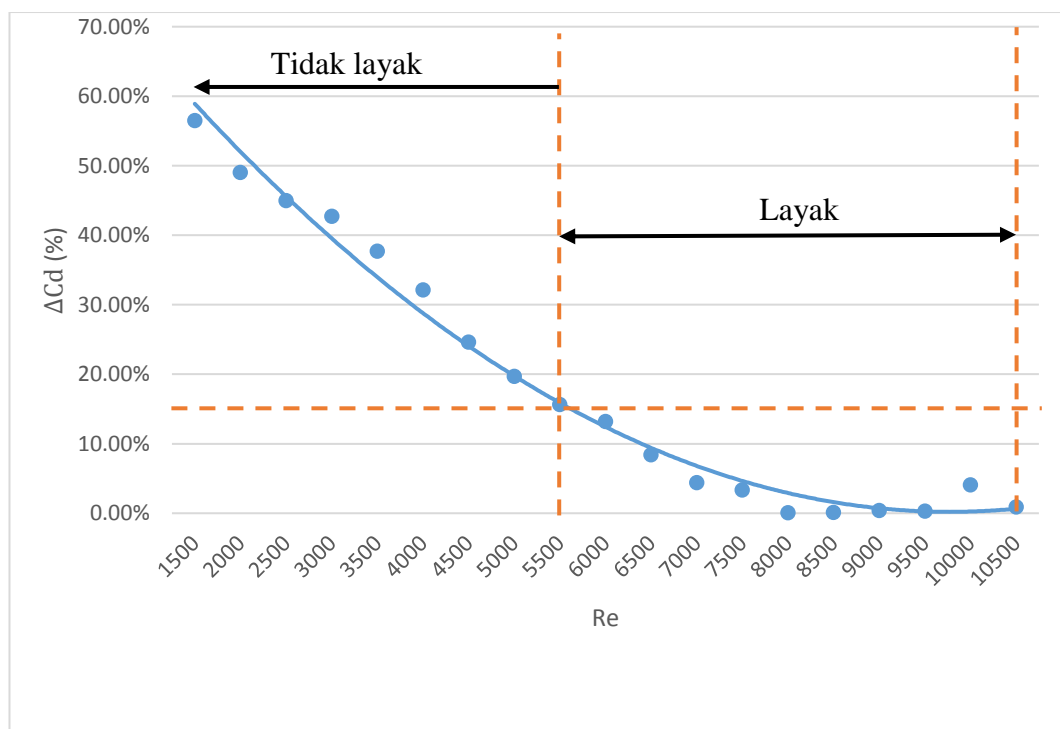


Gambar 4. 6 Grafik \dot{V}_{orifice} terhadap \dot{V}_{aktual} pada pipa $\frac{3}{4}$ inch

Dari grafik hubungan \dot{V}_{orifice} terhadap \dot{V}_{aktual} pada pipa $\frac{3}{4}$ inch yang ditunjukkan pada gambar 4.6 memiliki tren yang hampir sama dengan pipa $\frac{1}{2}$ inch. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara debit orifice hasil perhitungan (\dot{V}_{orifice}) dengan debit aktual yang terbaca di rotameter (\dot{V}_{aktual}). Untuk \dot{V}_{orifice} nilainya berfluktuasi namun nilainya terus naik. Nilai penyimpangan terkecil terjadi pada percobaan ke 8 yaitu pada debit aktual 4,5 LPM dengan nilai debit orifice sebesar 4,483 LPM. Pada percobaan ke 8 penyimpangan yang terjadi sebesar 0,017 LPM. Untuk nilai penyimpangan tertinggi terjadi pada percobaan ke 15 yaitu pada debit aktual 8 LPM dengan nilai debit orifice sebesar 8,541 LPM. Pada percobaan dengan debit aktual 1 LPM penyimpangan debit yang terjadi sebesar 0,541 LPM.

4.4.4 Grafik Re Terhadap ΔC_d

Setelah nilai koefisien curah pada pipa $\frac{1}{2}$ inch dan pipa $\frac{3}{4}$ inch didapatkan, lalu dilakukan perhitungan interpolasi terhadap nilai *coefficient of discharge* pada pipa $\frac{1}{2}$ inch dan pipa $\frac{3}{4}$ inch. Dari perhitungan interpolasi, lalu dihitung selisih antara C_{d2} dan C_{d1} . Setelah itu dibuat grafik Re terhadap ΔC_d . Grafik Re terhadap ΔC_d dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 7 Grafik Re terhadap ΔC_d

Keterangan :

$$\Delta C_d = 0,0021Re^2 - 0,0752Re + 0,6621$$

$$R^2 = 0,9873$$

Dari grafik Re terhadap ΔC_d yang ditunjukkan pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin besar bilangan Reynolds maka semakin kecil nilai *coefficient of discharge*. Nilai deviasi *coefficient of discharge* tertinggi terjadi pada bilangan Reynolds 1500 dengan nilai penyimpangan 56,50 %. Nilai tersebut terus turun hingga pada bilangan Reynolds ≥ 7000 nilai deviasi berfluktuasi namun cenderung stabil dengan range 0,04 % hingga 4,7 %. Nilai deviasi *coefficient of discharge* terendah terjadi pada bilangan Reynolds 8000 dengan nilai 0,08 %. Dari grafik Re terhadap ΔC_d yang di tunjukkan pada gambar 4.5 , jika nilai $\Delta C_d \leq 15\%$ maka dapat

diasumsikan bahwa nilai $Cd_1 = Cd_2$ yaitu pada $5500 \leq Re \leq 10500$. Untuk Bilangan Reynolds > 10500 perlu dilakukan pengujian kembali. Berdasarkan asumsi tersebut maka hipotesa yang ditunjukkan pada persamaan 4.1 dapat digunakan sebagai acuan untuk memprediksi debit air pada pipa yang berbeda dengan menggunakan rasio beta yang sama ($d/D = 0,4$).

$$\dot{V}_{aktual\ 2} / \dot{V}_{ideal\ 2} = Cd_2 = Cd_1 = \dot{V}_{aktual\ 1} / \dot{V}_{ideal\ 1} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} \dot{V}_{aktual\ 1} &= \dot{V}_{aktual} \text{ pada pipa } 1/2 \text{ inch (m}^3/\text{s)} \\ \dot{V}_{ideal\ 1} &= \dot{V}_{ideal} \text{ pada pipa } 1/2 \text{ inch (m}^3/\text{s)} \\ Cd_1 &= \textit{coefficient of discharge} \text{ pada pipa } 1/2 \text{ inch} \\ \dot{V}_{aktual\ 2} &= \dot{V}_{aktual} \text{ pada pipa } 3/4 \text{ inch (m}^3/\text{s)} \\ \dot{V}_{ideal\ 2} &= \dot{V}_{ideal} \text{ pada pipa } 3/4 \text{ inch (m}^3/\text{s)} \\ Cd_2 &= \textit{coefficient of discharge} \text{ pada pipa } 3/4 \text{ inch} \end{aligned}$$

Penelitian yang telah dilakukan Saputra (2017) yang menggunakan orifice dengan rasio $\beta = d/D = 0,16$ pada pipa $1/2$ inch dan pipa $3/4$ inch, nilai ΔC pada bilangan Reynolds paling rendah yaitu 1300 memiliki nilai ΔCd 5%. Untuk penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2017) yang menggunakan orifice rasio $\beta = d/D = 0,23$ pada pipa $1/2$ inch dan pipa $3/4$ inch, nilai ΔCd yang sesuai dengan asumsi $\Delta C < 15\%$ terjadi pada bilangan Reynolds 2600. Dari perbandingan di atas maka semakin kecil rasio orifice yang digunakan, semakin kecil bilangan Reynolds yang memenuhi asumsi $\Delta Cd \leq 15\%$, sehingga akan lebih baik jika menggunakan rasio orifice yang $< 0,4$ untuk memprediksi debit air pada pipa $1/2$ inch dan pipa $3/4$ inch.