

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini berisikan analisa dan pembahasan dari hasil penelitian *orifice plate meter* yang telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh rasio $\beta = d/D = 0,24$ *orifice* terhadap pipa dengan ukuran ½ dan 1 inch. Proses penelitian dilakukan dengan memvariasikan debit air yang diatur melalui rotameter kemudian mengamati nilai beda tekanan yang terbaca pada manometer U. Nilai beda tekanan yang didapat digunakan untuk mencari nilai Q_{ideal} yang kemudian digunakan untuk mencari nilai *coefficient of discharge*. Hasil perhitungan dari berbagai variasi kemudian dibuat dalam bentuk tabel dan grafik untuk selanjutnya dilakukan analisis.

4.1 Perhitungan Aliran *Fully Developed*

Aliran ini merupakan aliran dimana profil kecepatan adalah tetap dan tidak berubah seiring perubahan jarak. Perhitungan aliran berkembang penuh ini dilakukan saat perancangan alat uji yaitu pada pipa ½ inch untuk menentukan posisi *flange*. Perhitungan aliran *fully developed* pada pipa ½ dan 1 inch menggunakan angka Reynolds 2100 karena diasumsikan aliran yang terjadi adalah aliran laminar.

Diketahui:

$$D_1 = 18,7 \text{ mm} = 0,0187 \text{ m}$$
$$D_2 = 27,8 \text{ mm} = 0,0278 \text{ m}$$
$$Re = 2100$$

Perhitungan *fully developed* pada pipa ½ inch:

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

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

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

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

Perhitungan *fully developed* pada pipa 1 inch:

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

$$\frac{l_l}{0,0278} = 0,06 \cdot 2100$$

$$l_l = 0,06 \cdot 2100 \cdot 0,0278 \text{ m}$$

$$l_l = 3,5 \text{ m}$$

Pada penelitian ini, untuk pipa 1 inch, peletakan *flange* tidak pada jarak 3,5 m karena dianggap terlalu panjang. Oleh karena itu, peletakan tetap seperti pada penelitian terdahulu yaitu pada jarak 2,7 m. Untuk menyikapi perbedaan selisih jarak minimal *fully developed fluid* digunakan alat kontrol aliran berupa penyearah aliran (*tube bundle*).

4.2 Hasil Penelitian

4.2.1 Data Hasil Penelitian *Orifice Plate Meter* pada Pipa ½ dan 1 Inch

Berikut ini adalah tabel hasil pengambilan data pada pengujian *orifice plate meter* dengan beberapa variasi yang termuat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4. 1 Data hasil pengujian pada pipa ½ inch

No	Q air (L/PM)	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	1.5	1867.824	1467.576	1600.992	1600.992	1734.408	1467.576	2001.24	1600.992	1600.992	1600.992	1600.992	1600.992	1600.992	1734.408	1667.7
2	2	2534.904	2534.904	2668.32	2668.32	2935.152	2801.736	3201.984	2801.736	2801.736	2801.736	2801.736	2801.736	2801.736	2534.904	2721.6864
3	2.5	4002.48	4802.976	4669.56	4135.896	4669.56	4402.728	5736.888	4669.56	4402.728	4402.728	4402.728	4669.56	4536.144	4402.728	4602.852
4	3	7071.048	7071.048	7204.464	6937.632	7071.048	6937.632	7337.88	7471.296	6937.632	6937.632	7337.88	7471.296	7337.88	7071.048	7151.0976
5	3.5	9205.704	9872.784	9605.952	9472.536	10006.2	9339.12	9072.288	10006.2	10006.2	9339.12	9072.288	10006.2	9472.536	9339.12	9539.244
6	4	11206.944	12674.52	12407.688	12140.856	12007.44	12674.52	12674.52	12541.104	12674.52	12674.52	12674.52	12541.104	12807.936	12674.52	12381.0048
7	4.5	15342.84	16410.168	15609.672	16009.92	15876.504	16276.752	16009.92	16143.336	16276.752	16009.92	16009.92	16143.336	16410.168	17744.328	16183.3608
8	5	19612.152	20012.4	19878.984	20546.064	20412.648	21213.144	19478.736	21213.144	20412.648	21213.144	19478.736	19612.152	20012.4	20412.648	20119.1328
9	5.5	22013.64	23347.8	23748.048	23881.464	23347.8	24148.296	23881.464	24148.296	23347.8	24148.296	23881.464	23614.632	23748.048	23748.048	23547.924
10	6	26282.952	28017.36	27617.112	27216.864	27750.528	27883.944	28551.024	27883.944	27750.528	28286.672	28551.024	28150.776	28150.776	28284.192	27790.5528
11	6.5	31753.008	32820.336	30685.68	31352.76	32286.672	32286.672	33087.168	32286.672	32286.672	32286.672	33087.168	33354	32553.504	32820.336	32300.0136
12	7	36022.32	38156.976	37356.48	36689.4	37890.144	38824.056	37223.064	37890.144	38824.056	37223.064	37223.064	36422.568	38557.224	37223.064	37436.5296
13	7.5	41892.624	43093.368	42559.704	42026.04	42559.704	42959.952	42959.952	42559.704	42959.952	42959.952	42959.952	42959.952	43893.864	43893.864	42879.9024
14	8	48029.76	49363.92	48430.008	48430.008	48163.176	48830.256	48830.256	48163.176	48830.256	48830.256	48830.256	49497.336	48830.256	48696.84	48710.1816
15	8.5	54700.56	55367.64	54433.728	54300.312	54833.976	54967.392	55634.472	54833.976	54967.392	54967.392	55634.472	55234.224	55901.304	55767.888	55114.1496
16	9	61371.36	63506.016	62705.52	61905.024	61771.608	62305.272	61905.024	61771.608	62305.272	61905.024	61905.024	64173.096	63639.432	62972.352	62625.4704

Tabel 4. 2 Data hasil pengujian pada pipa 1 inch

No	Q 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	1.5	400.248	400.248	533.664	533.664	667.08	533.664	533.664	533.664	400.248	400.248	400.248	493.6392
2	2	667.08	667.08	800.496	800.496	933.912	800.496	800.496	800.496	800.496	800.496	800.496	787.1544
3	2.5	1067.328	1067.328	1067.328	1200.744	1067.328	1200.744	1200.744	1200.744	933.912	1067.328	1200.744	1107.3528
4	3	1467.576	1734.408	266.832	1867.824	1867.824	1734.408	1600.992	1600.992	1600.992	1734.408	1734.408	1560.9672
5	3.5	2268.072	2001.24	2134.656	2401.488	2668.32	2268.072	2401.488	2401.488	2401.488	2401.488	2401.488	2334.78
6	4	3335.4	2668.32	2801.736	3735.648	3468.816	3068.568	3468.816	3468.816	3335.4	3201.984	2935.152	3201.984
7	4.5	4135.896	3735.648	3602.232	4269.312	4002.48	4135.896	4002.48	4002.48	4269.312	4002.48	3869.064	4002.48
8	5	4402.728	4669.56	4936.392	4802.976	4802.976	5470.056	4802.976	4802.976	4802.976	5203.224	5203.224	4909.7088
9	5.5	6270.552	5870.304	6137.136	6137.136	6537.384	6403.968	6403.968	6403.968	6137.136	4802.976	5736.888	6043.7448
10	6	7337.88	6937.632	6937.632	6937.632	6804.216	6937.632	6670.8	6670.8	7204.464	6804.216	6670.8	6924.2904
11	6.5	8805.456	8004.96	8138.376	8271.792	7738.128	7871.544	7738.128	7738.128	7738.128	8004.96	8004.96	8031.6432
12	7	9872.784	9205.704	9072.288	9472.536	9205.704	9339.12	9472.536	9472.536	9339.12	9072.288	9472.536	9352.4616
13	7.5	10806.7	10940.11	10406.45	10806.7	11206.94	10673.28	10673.28	10673.28	10673.28	10406.45	10806.7	10739.988
14	8	12541.1	12407.69	12140.86	12274.27	12541.1	12407.69	11874.02	11874.02	11874.02	11607.19	12140.86	12180.881
15	8.5	14275.51	14275.51	13341.6	14008.68	13875.26	13741.85	13608.43	13741.85	13741.85	13475.02	14008.68	13835.239
16	9	15876.5	15743.09	15743.09	16143.34	15876.5	15876.5	16543.58	15876.5	15876.5	15476.26	15876.5	15903.187
17	9.5	17877.74	18544.82	17210.66	17744.33	18011.16	17610.91	17744.33	17610.91	17610.91	17477.5	18144.58	17797.694
18	10	20812.9	19878.98	19478.74	20012.4	20145.82	20279.23	19478.74	19345.32	19345.32	19478.74	19612.15	19852.301
19	10.5	22147.06	21880.22	21613.39	22547.3	21746.81	21746.81	21880.22	21613.39	21613.39	21479.98	22013.64	21866.882
20	11	24948.79	24948.79	24281.71	24681.96	24548.54	24948.79	24014.88	24281.71	24281.71	25082.21	24681.96	24641.935

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

Perhitungan dibawah ini merupakan contoh perhitungan *coefficient of discharge* dengan data dari Tabel 4.1 dengan variasi debit 1,5 LPM.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } D_1 & : 18,7 \text{ mm} = 0,0187 \text{ m} \\ d_2 & : \beta \cdot D_1 = 0,24 \cdot 0,0187 \text{ m} = 0,004484 \text{ m} \\ \mu_{\text{Air}} & : 0,001 \text{ N.s/m}^2 \\ \rho_{\text{Air}} & : 1000 \text{ kg/m}^3 \\ A_1 & : 2,7464 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ A_2 & : 1,5819 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \\ \Delta P & : 1667,7 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan satuan SI, maka satuan debit perlu di konversi terlebih dahulu menjadi satuan SI, dimana 1 LPM setara dengan $1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Maka kecepatan fluida adalah:

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q}{A_1} \\ v &= \frac{1,5 \cdot 1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{2,746 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \\ v &= 0,09104 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Setelah nilai kecepatan fluida (v) diketahui maka selanjutnya mencari angka Reynolds. Berikut adalah perhitungan angka Reynolds menggunakan persamaan 2.24.

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho \cdot v \cdot D_1}{\mu} \\ Re &= \frac{(1000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,09104 \text{ m/s} \cdot 0,0187 \text{ m})}{0,001 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} \\ Re &= 1702,532 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya yaitu mencari nilai Q_{ideal} menggunakan persamaan 2.14.

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

$$Q_{ideal} = 1,5819 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{1000 \text{ kg/m}^3}} \cdot \sqrt{1667,7 \text{ N/m}^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{1,5819 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{2,7464 \times 10^{-4} \text{ m}^2}\right)^2}}$$

$$Q_{ideal} = 2,894 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah nilai Q_{ideal} diketahui, perhitungan selanjutnya yaitu mencari nilai *coefficient of discharge* (C_d). Berikut ini adalah perhitungan nilai *coefficient of discharge* (C_d) menggunakan persamaan 2.25.

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

$$C_d = \frac{1,5 \cdot 1,667 \times 10^{-5}}{2,894 \times 10^{-5}}$$

$$C_d = 0,8640$$

4.2.3 Perhitungan *Coefficient of Discharge* (C_d) pada Pipa 1 Inch

Perhitungan dibawah ini merupakan contoh perhitungan *coefficient of discharge* dengan data dari Tabel 4.2 dengan variasi debit 1,5 LPM.

Diketahui :	D_1	: 27,8 mm = 0,0278 m
	d_2	: $\beta \cdot D_1 = 0,24 \cdot 0,0278 \text{ m} = 0,006672 \text{ m}$
	μ_{Air}	: 0,001 N.s/m ²
	ρ_{Air}	: 1000 kg/m ³

$$\begin{aligned}
 A_1 & : 6,0698 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\
 A_2 & : 3,4962 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \\
 \Delta P & : 493,6392 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan satuan SI, maka satuan debit perlu di konversi terlebih dahulu menjadi satuan SI, dimana 1 LPM setara dengan $1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Maka kecepatan fluida adalah:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{Q}{A_1} \\
 v &= \frac{(1,5 \cdot 1,667 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s}}{6,0698 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \\
 v &= 0,04120 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Setelah nilai kecepatan fluida (v) diketahui maka selanjutnya mencari angka Reynolds. Berikut adalah perhitungan angka Reynolds menggunakan persamaan 2.24.

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho \cdot v \cdot D_1}{\mu} \\
 Re &= \frac{(1000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,04120 \text{ m/s} \cdot 0,0278 \text{ m})}{0,001 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} \\
 Re &= 1145,229
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya yaitu mencari nilai debit ideal (Q_{ideal}) menggunakan persamaan 2.14.

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

$$Q_{ideal} = 3,4962 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{1000 \text{ kg/m}^3}} \cdot \sqrt{493,6392 \text{ N/m}^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{3,4962 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{6,0698 \times 10^{-4} \text{ m}^2}\right)^2}}$$

$$Q_{ideal} = 3,3480 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah nilai Q_{ideal} diketahui, perhitungan selanjutnya yaitu mencari nilai *coefficient of discharge* (Cd). Berikut ini adalah perhitungan nilai *coefficient of discharge* (Cd) menggunakan persamaan 2.25.

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

$$Cd = \frac{1,5 \times 1,667 \times 10^{-5}}{3,480 \times 10^{-5}}$$

$$Cd = 0,7186$$

4.2.4 Hasil Perhitungan *Coefficient of Discharge* (Cd) dan Angka Reynolds pada Pipa ½ Inch

Pada sub bab sebelumnya, perhitungan yang dilakukan hanya pada satu variabel debit aliran, sedangkan untuk data hasil perhitungan keseluruhan akan disajikan pada Tabel 4.3 dan 4.4.

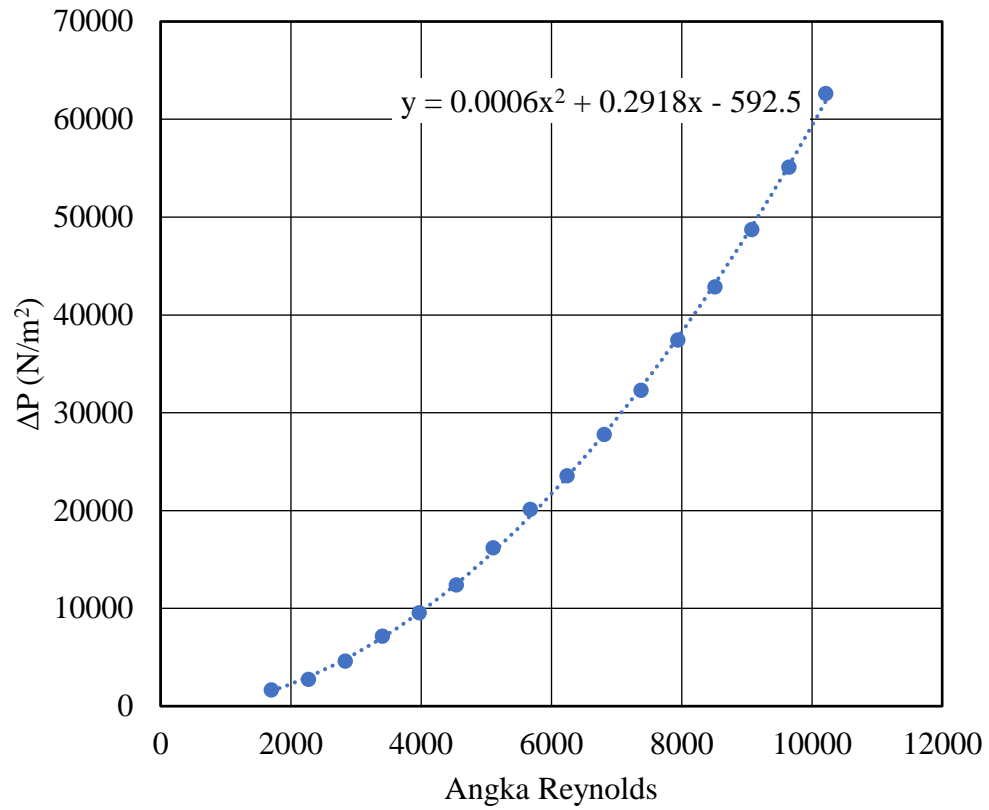
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan angka Reynolds (Re) dan *coefficient of discharge* (Cd) pada pipa ½ inch

No	Q air (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)	Re	Cd
1	1.5	1667.7	1702.532	0.8640
2	2	2721.6864	2270.043	0.9018
3	2.5	4602.852	2837.554	0.8668
4	3	7151.0976	3405.065	0.8345
5	3.5	9539.244	3972.575	0.8430
6	4	12381.0048	4540.086	0.8456

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan angka Reynolds (Re) dan *coefficient of discharge* (Cd) pada pipa ½ inch (lanjutan)

No	Q air (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)	Re	Cd
7	4.5	16183.3608	5107.597	0.8321
8	5	20119.1328	5675.108	0.8292
9	5.5	23547.924	6242.619	0.8431
10	6	27790.5528	6810.129	0.8467
11	6.5	32300.0136	7377.640	0.8508
12	7	37436.5296	7945.151	0.8510
13	7.5	42879.9024	8512.662	0.8520
14	8	48710.1816	9080.172	0.8527
15	8.5	55114.1496	9647.683	0.8517
16	9	62625.4704	10215.194	0.8460

Tabel 4.3 dan 4.4 adalah hasil keseluruhan dari perhitungan nilai angka Reynolds dan *coefficient of discharge* pada pipa PVC ½ inch. Berikutnya, data angka Reynolds dan ΔP akan disajikan dalam bentuk Grafik yang dimuat pada Gambar 4.1, sedangkan data angka Reynolds dan *coefficient of discharge* akan disajikan dalam bentuk grafik yang dimuat pada Gambar 4.2.

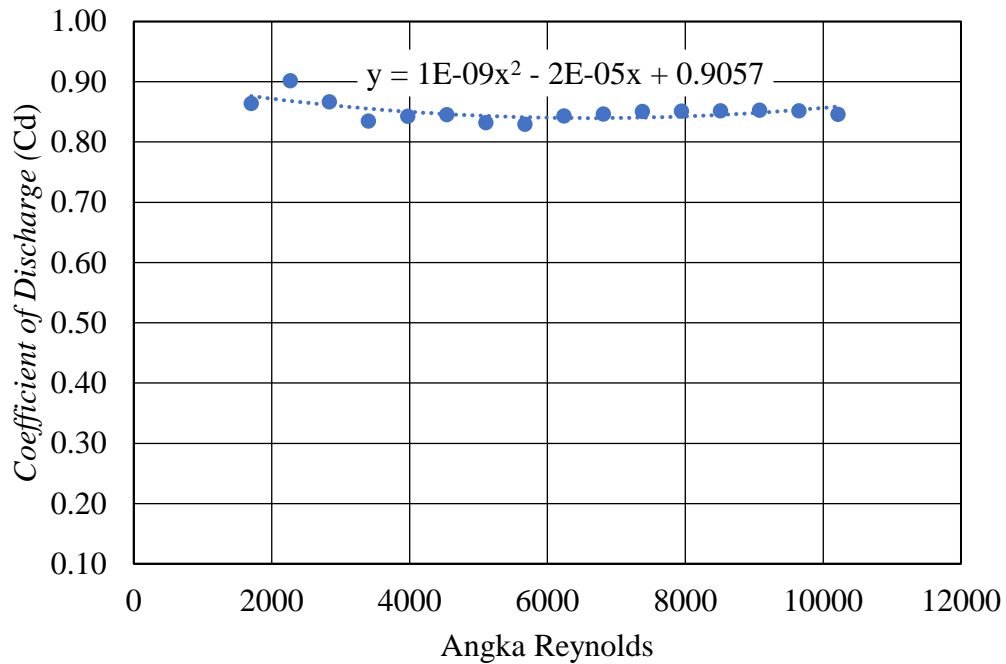


Gambar 4. 1 Hubungan antara Re dan ΔP pada pipa $\frac{1}{2}$ inch

Keterangan:

$$\Delta P = 0,0006Re^2 + 0,291Re - 592,5$$

Grafik pada Gambar 4.1 adalah hubungan antara angka Reynolds dan perubahan tekanan rata-rata pada pipa $\frac{1}{2}$ inch. Grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa perubahan tekanan mengalami kenaikan seiring dengan bertambah besarnya angka Reynolds. Dengan kata lain, nilai perubahan tekanan berbanding lurus dengan nilai angka Reynolds. Dari Grafik tersebut juga diketahui persamaan regresi hubungan antara angka Reynolds dan perubahan tekanan yang kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai debit pada *orifice*. Persamaan regresi Re dan ΔP pada Gambar 4.1 berlaku pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 10300.



Gambar 4. 2 Hubungan antara Re dan Cd pada pipa ½ inch

Keterangan :

$$Cd = 1x10^{-9}Re^2 - 2x10^{-5}Re + 0,9057$$

Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan antara angka Reynolds dan nilai *coefficient of discharge* (Cd). Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai Cd berfluktuasi pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 6200. Setelah itu, nilai Cd masih berfluktuasi pada kisaran angka Reynolds 6200 sampai 10200, tetapi cenderung konstan. Nilai *coefficient of discharge* tertinggi yaitu 0,9018 didapat pada angka Reynolds 2270. Meskipun berfluktuasi, namun nilai *coefficient of discharge* masih dapat dikatakan baik karena masih dalam kisaran angka 0,8 sampai 0,9 yang menandakan bahwa nilai debit aktual hampir mendekati nilai debit idealnya. Persamaan regresi Re dan Cd pada Gambar 4.2 berlaku pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 10300.

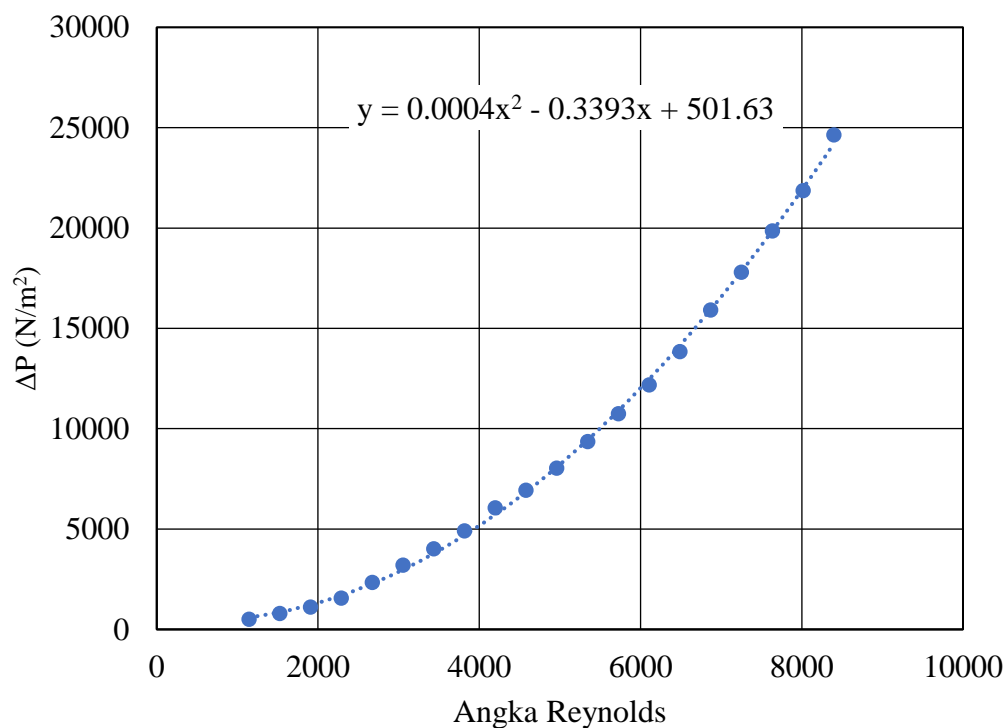
4.2.5 Hasil Perhitungan *Coefficient of Discharge* (Cd) dan Angka Reynolds pada Pipa 1 Inch

Setelah dilakukan perhitungan *coefficient of discharge* dan angka Reynolds pada pipa PVC dengan diameter 1 inch, hasil keseluruhan akan disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan angka Reynolds (Re) dan *coefficient of discharge* (Cd) pada pipa 1 inch

No	Q air (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)	Re	Cd
1	1.5	493.6392	1145.229	0.7186
2	2	787.1544	1526.971	0.7587
3	2.5	1107.3528	1908.714	0.7996
4	3	1560.9672	2290.457	0.8082
5	3.5	2334.78	2672.200	0.7710
6	4	3201.984	3053.943	0.7524
7	4.5	4002.48	3435.686	0.7571
8	5	4909.7088	3817.429	0.7595
9	5.5	6043.7448	4199.171	0.7530
10	6	6924.2904	4580.914	0.7675
11	6.5	8031.6432	4962.657	0.7720
12	7	9352.4616	5344.400	0.7704
13	7.5	10739.988	5726.143	0.7703
14	8	12180.8808	6107.886	0.7715
15	8.5	13835.2392	6489.629	0.7692
16	9	15903.1872	6871.372	0.7596
17	9.5	17797.6944	7253.114	0.7579
18	10	19852.3008	7634.857	0.7554
19	10.5	21866.8824	8016.600	0.7558
20	11	24641.9352	8398.343	0.7459

Dari Tabel 4.5, data perubahan tekanan rata-rata, angka Reynolds, dan *coefficient of discharge* pada pipa 1 inch akan diolah dan disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara angka Reynolds dan ΔP yang dapat dilihat pada Gambar 4.3, sedangkan grafik hubungan antara angka Reynolds dan nilai *coefficient of discharge* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

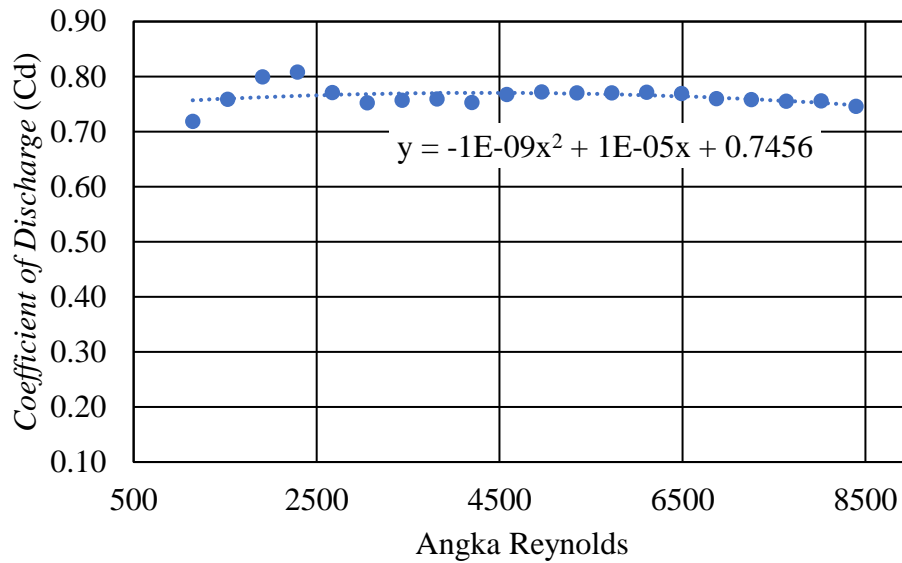


Gambar 4. 3 Hubungan antara Re dan ΔP pada pipa 1 inch

Keterangan:

$$\Delta P = 0,0004Re^2 - 0,3393Re + 501,63$$

Grafik pada Gambar 4.3 menyajikan hubungan antara angka Reynolds dan ΔP . Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai perubahan tekanan sangat dipengaruhi oleh angka Reynolds, semakin besar angka Reynolds maka akan semakin besar pula nilai perubahan tekanan yang diperoleh. Persamaan regresi Re dan ΔP pada Gambar 4.3 berlaku pada kisaran angka Reynolds 1100 sampai 8400.



Gambar 4. 4 Hubungan antara Re dan *coefficient of discharge* (Cd) pada pipa 1 inch

Keterangan:

$$Cd = -1 \times 10^{-9} Re^2 + 1 \times 10^{-5} Re + 0,7456$$

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara angka Reynolds dan nilai Cd. Tampak pada grafik tersebut nilai Cd pada 1,5 LPM sebesar 0,72 dan terus meningkat hingga 0,8 pada debit 3 LPM lalu mengalami penurunan sampai batas maksimal debit yang dicapai. Nilai Cd mengalami penurunan pada angka Reynolds 2600 dan cenderung konstan sampai angka Reynolds 8000 walaupun mengalami sedikit fluktuasi. Nilai Cd pada pengujian *orifice* pipa 1 inch ini berkisar antara 0,7 sampai 0,8. Persamaan regresi Re dan Cd pada Gambar 4.4 berlaku pada kisaran angka Reynolds 1100 sampai 8400.

4.2.6 Perhitungan Debit *Orifice* ($Q_{orifice}$) pada Pipa PVC ½ inch

Berikut ini adalah contoh perhitungan debit *orifice* dengan data yang diambil dari Tabel 4.3 yaitu pada variasi Q_{air} 1,5 LPM:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } Q_{air} &: 1 \text{ LPM} = 1,5 \times 1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{ideal} &: 2,894 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta P_{rata-rata} &: 1667,7 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan 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.

$$\Delta P = 0,0006Re^2 - 0,195Re - 303,13$$

$$1667,7 = 0,0006Re^2 - 0,195Re - 303,13$$

$$0,0006Re^2 - 0,195Re - 1970,83 = 0$$

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

$$Re = \frac{0,195 + \sqrt{0,195^2 - 4 \cdot 0,0006 \cdot (-1970,83)}}{2 \times 0,0006}$$

$$Re = 1982,15$$

Setelah nilai Re diketahui, selanjutnya menghitung nilai Cd menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap Cd pada pipa ½ inch yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

$$Cd = -3x10^{-10}Re^2 + 4x10^{-6}Re + 0,8347$$

$$Cd = -3x10^{-10} \cdot (1982,15^2) + 4x10^{-6} \cdot (1982,15) + 0,8347$$

$$Cd = 0,8414$$

Setelah mengetahui nilai *coefficient of discharge* (Cd) maka selanjutnya menentukan debit *orifice* ($Q_{orifice}$) menggunakan persamaan 2.25.

$$Q_{orifice} = Cd \cdot Q_{ideal}$$

$$Q_{orifice} = 0,8414 \cdot 2,894x10^{-5}$$

$$Q_{orifice} = 2,4352x10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2.7 Perhitungan Debit *Orifice* ($Q_{orifice}$) pada Pipa PVC 1 inch

Berikut ini adalah contoh perhitungan debit *orifice* dengan data yang diambil dari Tabel 4.5 yaitu pada variasi Q_{air} 1,5 LPM:

$$\text{Diketahui: } Q_{air} : 1,5 \text{ LPM} = 1,5 \times 1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ideal} : 3,48 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta P_{rata-rata} : 493,6392 \text{ N/m}^2$$

Perhitungan 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.

$$\Delta P = 0,0004Re^2 - 0,3393Re + 501,63$$

$$493,6392 = 0,0004Re^2 - 0,3393Re + 501,63$$

$$0,0004Re^2 - 0,3393Re + 7,9908 = 0$$

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

$$Re = \frac{0,3393 + \sqrt{0,3393^2 - 4 \cdot 0,0004 \cdot 7,9908}}{2 \cdot 0,0004}$$

$$Re = 824,006252$$

Setelah nilai Re diketahui, selanjutnya menghitung nilai Cd menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap Cd pada pipa 1 inch yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.

$$Cd = 1 \times 10^{-9} Re^2 - 1 \times 10^{-5} Re + 0,7456$$

$$Cd = 1 \times 10^{-9} (824,006252^2) - 1 \times 10^{-5} (824,006252) + 0,7456$$

$$Cd = 0,7532$$

Setelah mengetahui nilai *coefficient of discharge* (Cd) maka selanjutnya menentukan debit *orifice* ($Q_{orifice}$) menggunakan persamaan 2.25.

$$Q_{orifice} = Cd \cdot Q_{ideal}$$

$$Q_{orifice} = 0,7532 \times 3,48 \times 10^{-5}$$

$$Q_{orifice} = 2,621 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3 Pembahasan

Pada bagian ini, hasil perhitungan dari data percobaan yang telah didapat dari pengujian *orifice plate meter* dengan rasio beta 0,24 pada pipa ½ dan 1 inch akan dibahas lebih rinci.

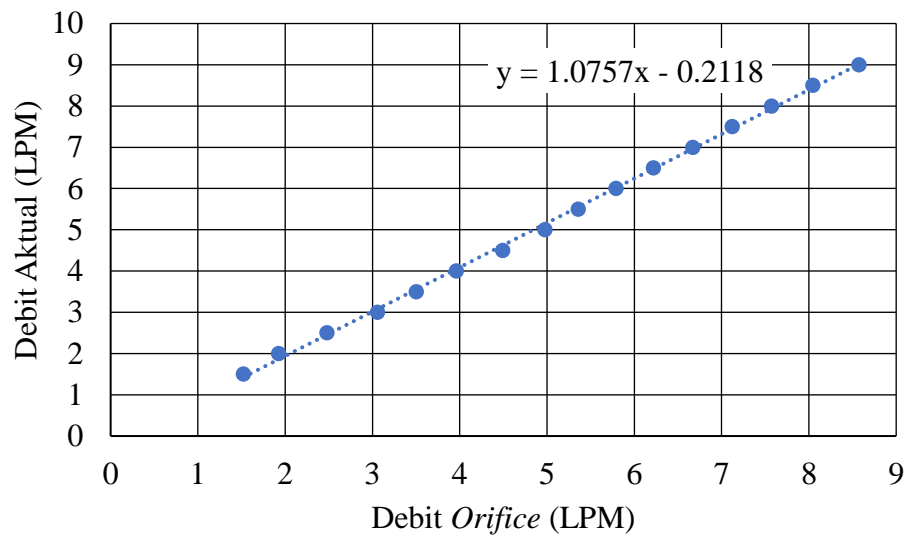
4.3.1 Perbandingan Debit *Orifice* ($Q_{orifice}$) dengan Debit aktual pada Pipa ½ inch

Setelah dilakukan perhitungan debit *orifice* menggunakan persamaan regresi, hasil perhitungan debit *orifice* keseluruhan akan disajikan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan debit *orifice* ($Q_{orifice}$) pada pipa ½ inch

No	Debit Aktual (LPM)	Debit Orifice (LPM)	ΔQ	
			(LPM)	%
1	1.5	1.518	0.018	1.20%
2	2	1.925	0.075	3.77%
3	2.5	2.477	0.023	0.92%
4	3	3.055	0.055	1.84%
5	3.5	3.501	0.001	0.03%
6	4	3.959	0.041	1.03%
7	4.5	4.490	0.010	0.23%
8	5	4.973	0.027	0.54%
9	5.5	5.355	0.145	2.64%
10	6	5.790	0.210	3.50%
11	6.5	6.217	0.283	4.35%
12	7	6.670	0.330	4.72%
13	7.5	7.119	0.381	5.09%
14	8	7.572	0.428	5.35%
15	8.5	8.045	0.455	5.36%
16	9	8.571	0.429	4.76%

Dari Tabel 4.6, data debit hasil perhitungan dan debit aktual diolah menjadi grafik perbandingan. Grafik perbandingan debit aktual dan debit *orifice* hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Perbandingan antara debit aktual dan debit *orifice* pipa ½ inch

Gambar 4.5 menunjukkan bagaimana perbandingan debit aktual dengan debit *orifice* hasil perhitungan. Tampak dari Gambar 4.5, kedua debit mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya variasi percobaan. Nilai ΔQ tertinggi terjadi pada percobaan 15 yaitu pada debit 8,5 LPM dengan nilai ΔQ 0,455 yang jika dipersentasikan terjadi penyimpangan sebesar 5,36 %, sedangkan nilai ΔQ terendah terjadi pada percobaan 5 yaitu pada debit 3,5 LPM dengan nilai ΔQ 0,001 yang jika dipersentasikan terjadi penyimpangan sebesar 0,03 %.

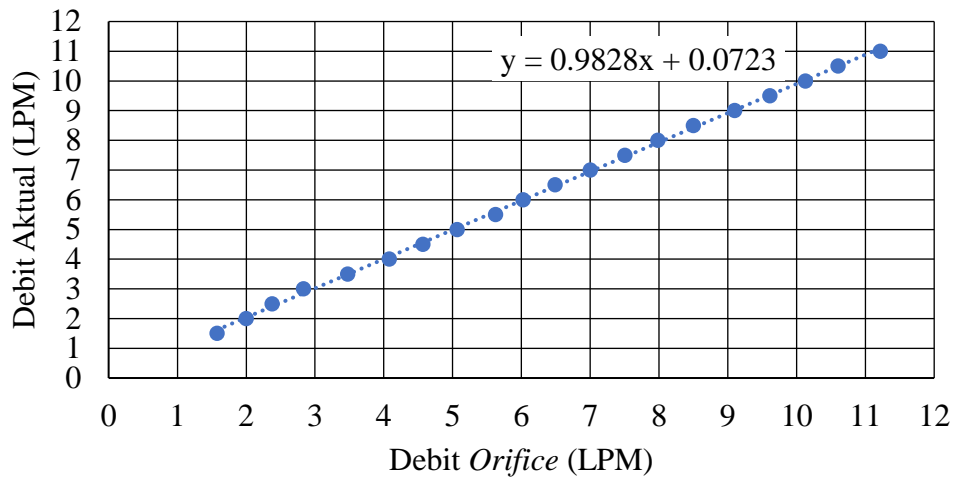
4.3.2 Perbandingan Debit *Orifice* ($Q_{orifice}$) dengan Debit aktual pada Pipa 1 inch

Sama seperti pada pembahasan debit *orifice* pada pipa ½ inch, nilai debit *orifice* 1 inch juga akan dimuat dalam bentuk tabel yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai debit aktual. Tabel hasil perhitungan debit *orifice* dimuat dalam Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan debit *orifice* ($Q_{orifice}$) pada pipa 1 inch

No	Debit Aktual (LPM)	Debit Orifice (LPM)	ΔQ	
			(LPM)	%
1	1.5	1.572	0.072	4.81%
2	2	1.997	0.003	0.17%
3	2.5	2.376	0.124	4.97%
4	3	2.829	0.171	5.69%
5	3.5	3.472	0.028	0.79%
6	4	4.077	0.077	1.92%
7	4.5	4.565	0.065	1.45%
8	5	5.063	0.063	1.26%
9	5.5	5.623	0.123	2.24%
10	6	6.022	0.022	0.37%
11	6.5	6.488	0.012	0.19%
12	7	7.001	0.001	0.02%
13	7.5	7.501	0.001	0.01%
14	8	7.983	0.017	0.21%
15	8.5	8.500	0.000	0.01%
16	9	9.098	0.098	1.09%
17	9.5	9.608	0.108	1.13%
18	10	10.125	0.125	1.25%
19	10.5	10.601	0.101	0.96%
20	11	11.214	0.214	1.94%

Dari Tabel 4.7, data debit hasil perhitungan dan debit aktual diolah menjadi grafik perbandingan. Grafik perbandingan debit aktual dan debit *orifice* hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Perbandingan antara debit aktual dan debit *orifice* pipa 1 inch

Gambar 4.6 menunjukkan bagaimana perbedaan debit aktual yang terbaca di rotameter dengan debit *orifice* hasil perhitungan. Tampak dari grafik diatas kedua debit sama-sama mengalami kenaikan. Selisih debit tertinggi pada grafik diatas terjadi pada percobaan 4 yaitu pada debit 3 LPM dengan nilai ΔQ sebesar 0,171 LPM yang jika dipersentasikan yaitu sebesar 5,69 %, sedangkan nilai ΔQ terendah terjadi pada percobaan 15 yaitu pada debit 8,5 LPM dengan nilai ΔQ 0,001 yang jika dipersentasikan terjadi penyimpangan sebesar 0,01 %.

4.3.3 Prediksi Debit Aktual (Q_{aktual}) pada Pipa 1 inch

Sebelum dilakukan perhitungan prediksi debit aktual pada pipa 1 inch, nilai *coefficient of discharge* pada masing-masing pipa dihitung kembali dengan rumus regresi yang dapat dilihat pada grafik C_d terhadap Re pada masing-masing pipa. Perhitungan ulang nilai *coefficient of discharge* ini bertujuan agar angka Reynolds pada masing-masing nilai C_d sama yang kemudian dapat dibuat grafik perbandingan antara nilai deviasi *coefficient of discharge* dan angka Reynolds kedua pipa. Hasil perhitungan kembali nilai C_d pada masing-masing pipa pada Tabel 4.9.

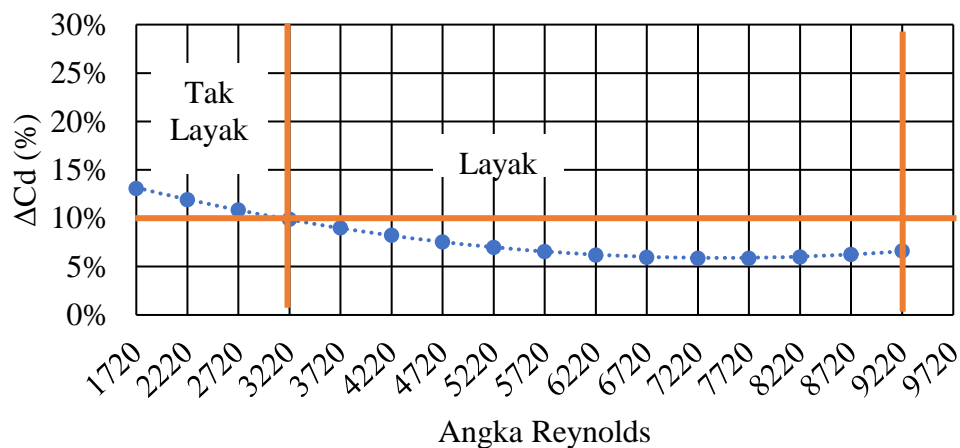
Tabel 4. 8 Hasil perhitungan kembali nilai Cd pada pipa 1 dan ½ inch

Angka Reynolds	Cd 1/2	Cd 1	ΔCd	ΔCd (%)
1720	0.87426	0.75984	0.11442	13%
2220	0.86623	0.76287	0.10336	12%
2720	0.8587	0.7654	0.0933	11%
3220	0.85167	0.76743	0.08424	10%
3720	0.84514	0.76896	0.07618	9%
4220	0.83911	0.76999	0.06912	8%
4720	0.83358	0.77052	0.06306	8%
5220	0.82855	0.77055	0.058	7%
5720	0.82402	0.77008	0.05394	7%
6220	0.81999	0.76911	0.05088	6%
6720	0.81646	0.76764	0.04882	6%
7220	0.81343	0.76567	0.04776	6%
7720	0.8109	0.7632	0.0477	6%
8220	0.80887	0.76023	0.04864	6%
8720	0.80734	0.75676	0.05058	6%
9220	0.80631	0.75279	0.05352	7%

Keterangan:

$$\Delta Cd (\%) = \left(\frac{Cd_{1\text{ inch}} - Cd_{\frac{1}{2}\text{ inch}}}{Cd_{\frac{1}{2}\text{ inch}}} \right) \cdot 100\%$$

Nilai ΔCd dan Re pada Tabel 4.9 kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Hubungan ΔCd terhadap Re pada pipa 1 dan ½ inch

Grafik ΔC_d terhadap Re pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai ΔC_d mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya angka Reynolds. Nilai selisih *coefficient of discharge* tertinggi dan terendah terjadi pada angka Reynolds 1720 yaitu sebesar 13 % dan angka Reynolds 0,047 yaitu sebesar 6%. Dengan asumsi nilai $\Delta C_d \leq 10\%$, nilai C_d pada pipa $\frac{1}{2}$ inch sama dengan nilai C_d pada pipa 1 inch ($C_{d_{1/2}} = C_{d_1}$). Berdasarkan asumsi tersebut, plat *orifice* dengan rasio beta 0,24 dapat digunakan untuk memprediksi debit pada pipa yang berbeda. Dalam kasus ini, nilai rasio beta 0,24 pada pipa $\frac{1}{2}$ inch dapat digunakan untuk memprediksi debit pada pipa 1 inch dan berlaku untuk kisaran angka Reynolds 3220 sampai 9220. Untuk menghitung debit air pada ukuran pipa yang berbeda dapat digunakan persamaan 4.1:

$$\frac{Q_{\text{aktual } 1}}{Q_{\text{ideal } 1}} = C_{d_1} = C_{d_{1/2}} = \frac{Q_{\text{aktual } 1/2}}{Q_{\text{ideal } 1/2}} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dengan : $Q_{\text{aktual } 1}$ = Debit aktual pada pipa 1 inch (m^3/s)
 $Q_{\text{ideal } 1}$ = Debit ideal pada pipa 1 inch (m^3/s)
 C_{d_1} = *Coefficient of discharge* pada pipa 1 inch (m^3/s)
 $Q_{\text{aktual } 1/2}$ = $Q_{\text{aktual } 2}$ pada pipa $\frac{1}{2}$ inch (m^3/s)
 $Q_{\text{ideal } 1/2}$ = Q_{ideal} pada pipa $\frac{1}{2}$ inch (m^3/s)
 $C_{d_{1/2}}$ = *Coefficient of discharge* pada pipa $\frac{1}{2}$ inch (m^3/s)

Persamaan 4.1 kemudian diaplikasikan untuk menghitung debit aktual (Q_{aktual}) pada pipa 1 inch. Sebagai contoh perhitungan, diambil data percobaan dengan variasi debit 2 LPM pada masing-masing pipa. Berikut ini adalah contoh perhitungan prediksi debit aktual (Q_{aktual}) pada pipa 1 inch:

$$Q_{\text{aktual } 1} = C_{d_{1/2}} \cdot Q_{\text{ideal } 1}$$

Dengan:

$Q_{\text{aktual } 1}$ = Debit prediksi pipa 1 inch (LPM)
 $C_{d_{1/2}}$ = *Coefficient of discharge* pipa $\frac{1}{2}$ inch
 $Q_{\text{ideal } 1}$ = Debit ideal pipa 1 inch (m^3/s)

Dari persamaan di atas, nilai prediksi debit aktual pada pipa 1 inch dapat dihitung, seperti di bawah ini:

$$Q_{\text{aktual } 1} = C_{d_{1/2}} \cdot Q_{\text{ideal } 1}$$

$$Q_{\text{aktual } 1} = 0,867 \cdot 0,00004394 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{aktual } 1} = 3,813 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{aktual } 1} = 2,28 \text{ LPM}$$

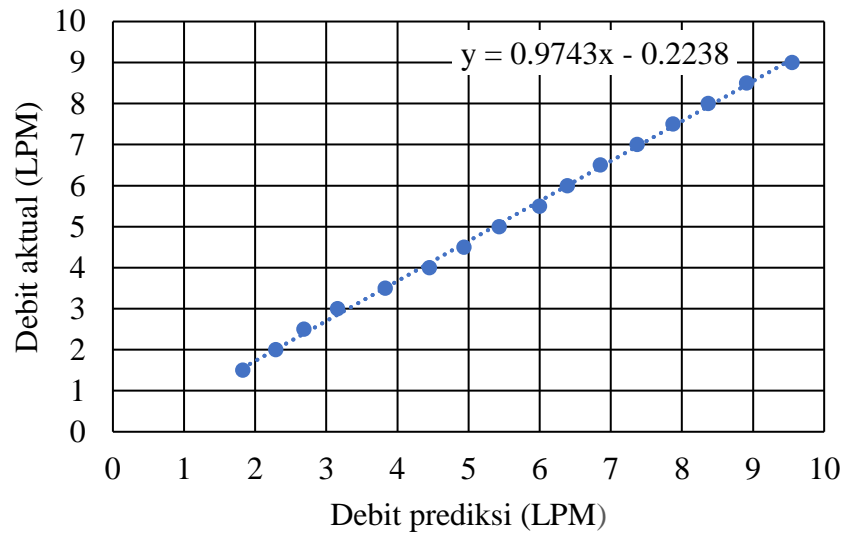
Dari perhitungan di atas, terjadi selisih antara debit aktual pipa 1 inch yang terbaca di rotameter dengan debit prediksi hasil perhitungan. Perhitungan debit prediksi pada pipa 1 inch termuat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 9 Perbandingan hasil debit prediksi dengan debit aktual pada pipa 1 inch

No	Q aktual (LPM)	Debit Prediksi Pipa 1" (LPM)	ΔQ (LPM)	ΔQ (%)
1	1.5	1.82518208	0.32518208	22%
2	2	2.28745615	0.28745615	14%
3	2.5	2.68512346	0.18512346	7%
4	3	3.15448131	0.15448131	5%
5	3.5	3.82802966	0.32802966	9%
6	4	4.44930945	0.44930945	11%
7	4.5	4.93458903	0.43458903	10%
8	5	5.42931262	0.42931262	9%
9	5.5	5.99560405	0.49560405	9%
10	6	6.38720320	0.38720320	6%
11	6.5	6.85156174	0.35156174	5%
12	7	7.36763306	0.36763306	5%
13	7.5	7.87379777	0.37379777	5%
14	8	8.36872620	0.36872620	5%
15	8.5	8.90772156	0.40772156	5%
16	9	9.54594141	0.54594141	6%

Keterangan:

$$\Delta Q (\%) = \left(\frac{Q_{\text{prediksi}} - Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{aktual}}} \right) \cdot 100\%$$



Gambar 4. 8 Hubungan antara debit prediksi dan debit aktual

Tabel 4.10 adalah tabel hubungan antara debit aktual pada rotameter dan debit prediksi pada pipa 1 inch. Tabel tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan debit prediksi terhadap debit aktual tertinggi sebesar 22% yang terjadi pada debit prediksi 1,5 LPM dan semakin menurun hingga 5% meskipun pada percobaan terakhir atau pada percobaan 16 nilai penyimpangan naik lagi menjadi sebesar 6% yaitu pada debit aktual 9 LPM. Meskipun demikian, bila Tabel 4.10 dimuat ke dalam grafik seperti pada Gambar 4.8, grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai debit prediksi dan debit aktual masih tergolong linier dan jika mengacu pada hipotesis $Cd_{1/2} = Cd_1$ yang memakai batas prediksi 10%, maka plat *orifice* dengan rasio beta 0,24 yang sesuai kriteria prediksi yaitu pada debit 4,5 LPM sampai dengan 9 LPM.

4.3.4 Perbandingan dengan Hasil Penelitian Terdahulu

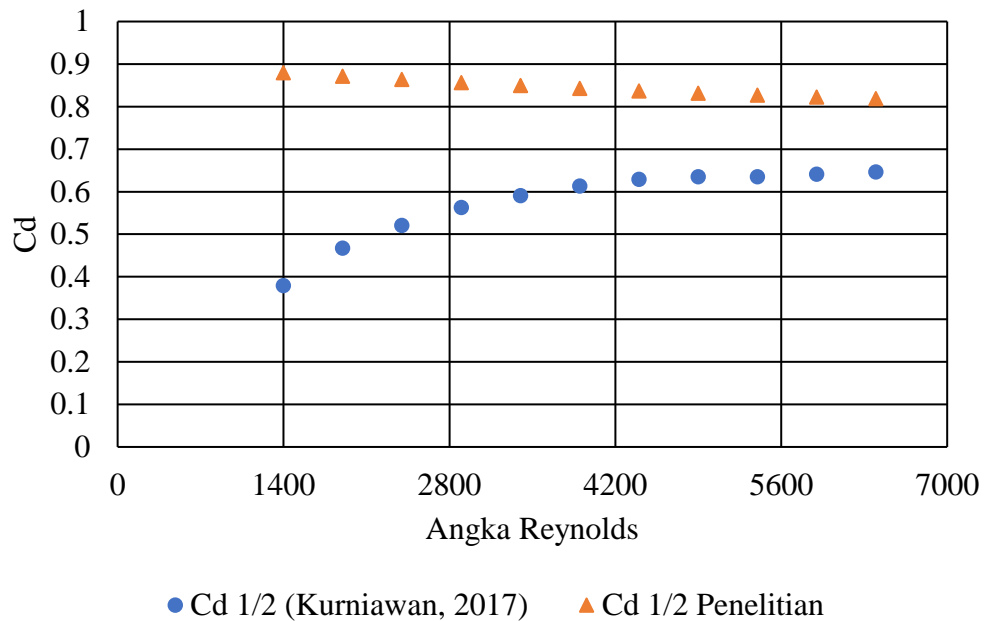
Penelitian ini memiliki beberapa perbedaan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Kurniawan (2017). Kurniawan (2017) melakukan penelitian *orifice plate meter* dengan rasio beta 0,24 pada pipa PVC $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ inch, ΔP diukur menggunakan *differential pressure gauge* digital tipe HT-1890, dan peletakan *pressure tap* tidak diketahui jenisnya, sedangkan pada penelitian ini pengukuran dilakukan pada pipa PVC $\frac{1}{2}$ inch dan 1 inch, ΔP diukur menggunakan manometer

air raksa, dan peletakan *pressure tap* menggunakan jenis *radius tap* yang diketahui sesuai dengan ISO-5156-2: 2003. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.9.

Tabel 4. 10 Perbandingan Nilai Cd

Re	Cd ½ Kurniawan	Cd ½ Penelitian	ΔCd	ΔCd (%)
1400	0.379	0.87966	0.50066	132%
1900	0.467	0.87131	0.40431	87%
2400	0.521	0.86346	0.34246	66%
2900	0.563	0.85611	0.29311	52%
3400	0.591	0.84926	0.25826	44%
3900	0.613	0.84291	0.22991	38%
4400	0.629	0.83706	0.20806	33%
4900	0.635	0.83171	0.19671	31%
5400	0.635	0.82686	0.19186	30%
5900	0.641	0.82251	0.18151	28%
6400	0.646	0.81866	0.17266	27%

Tabel 4.11 menunjukkan perbandingan nilai $Cd_{1/2}$ antara penelitian kurniawan (2017) dan $Cd_{1/2}$ yang penulis lakukan. Nilai selisih *coefficient of discharge* tertinggi yaitu 0,5 pada angka Reynolds 1400 dan selisih terendah yaitu sebesar 0,17 pada angka Reynolds 6400. Data pada Tabel 4.11 akan dimuat menjadi grafik yang termuat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Hubungan antara Cd saat ini dan Cd Kurniawan (2017) pada pipa 1/2 inch

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa terdapat selisih yang besar pada angka Reynolds rendah. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan dalam metode pengukuran tekanan dimana penggunaan alat ukur pada penelitian Kurniawan (2017) menggunakan *differential pressure gauge* digital jenis HT-1890 dan juga posisi peletakan lubang tekanan yang tidak diketahui jenisnya, sedangkan penelitian saat ini menggunakan manometer U air raksa dan menggunakan jenis *radius tap* untuk posisi lubang tekanannya. Dari grafik juga dapat diketahui bahwa nilai *coefficient of discharge* pada penelitian Kurniawan (2017) mengalami peningkatan seiring dengan semakin meningkatnya angka Reynolds dengan nilai Cd tertinggi yaitu 0,464 pada angka Reynolds 6400 dan nilai Cd terendah yaitu 0,38 pada angka Reynolds 1400, sedangkan pada penelitian saat ini berbanding terbalik, nilai Cd cenderung menurun seiring dengan semakin tinggi tingginya angka Reynolds, tetapi jangkauan nilai Cd yang dihasilkan pada penelitian saat ini lebih besar dari penelitian sebelumnya. Nilai Cd tertinggi yaitu 0,88 pada angka Reynolds 1400, sedangkan nilai Cd terendahnya yaitu 0,82 pada angka Reynolds 6400.