

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 $\beta = d/D = 0,19$ *orifice* terhadap pipa dengan ukuran 1 inch dan ½ 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 selanjutnya digunakan untuk mencari nilai \dot{V}_{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 analisa.

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 pada pipa 1 inch tidak dilakukan karena sudah dilakukan pemasangan *straightener* sebagai gantinya. Perhitungan aliran *fully developed* pada pipa ½ inch menggunakan bilangan reynold 2100 karena diasumsikan aliran yang terjadi pada aliran laminar.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } D_1 &= 18,7 \text{ mm} = 0,0187 \text{ m} \\ \text{Re} &= 2100 \end{aligned}$$

Perhitungan *fully developed* pada pipa ½ inch :

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

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

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

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

4.2 Hasil penelitian

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

Berikut ini adalah tabel hasil pengambilan data pada pengujian *orifice plate meter* dengan beberapa variasi :

Tabel 4. 1 Data hasil pengujian pada pipa 1 inch

no	Debit (LPM)	Percobaan								
		1			2			3		
		ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)
1	1	43,6	43,2	533,664	43,5	43,2	400,248	43,6	43,3	400,248
2	1,5	43,8	43,1	933,912	43,8	43,1	933,912	43,8	43,2	800,496
3	2	44	42,9	1467,576	43,9	43	1200,744	44,1	43	1467,576
4	2,5	44,5	42,5	2668,32	44,5	42,5	2668,32	44,5	42,6	2534,904
5	3	44,9	42,1	3735,648	45	42	4002,48	45	42	4002,48
6	3,5	45,4	41,6	5069,808	45,5	41,5	5336,64	45,6	41,6	5336,64
7	4	46	40,7	7071,048	46,1	40,6	7337,88	46,2	40,8	7204,464
8	4,5	46,6	40	8805,456	47	40	9339,12	47	40	9339,12
9	5	47,5	39	11340,36	47,6	39,1	11340,36	48	38,9	12140,86
10	5,5	48,3	38,7	12807,94	48,4	38,4	13341,6	48,7	38,4	13741,85
11	6	49,2	37,6	15476,26	49,5	37,4	16143,34	49,1	37,8	15076,01
12	6,5	50,3	35,1	20279,23	50,6	36,1	19345,32	50,3	36,4	18544,82
13	7	51,3	35	21746,81	51,5	35,3	21613,39	51,5	35,3	21613,39
14	7,5	52,4	34,2	24281,71	52,7	34	24948,79	52,4	34,3	24148,3
15	8	53,9	32,6	28417,61	54	32,3	28951,27	53,7	32,8	27883,94
16	8,5	55,7	30,7	33354	55,2	31	32286,67	55,3	31,1	32286,67
17	9	57	29,2	37089,65	57,1	29,4	36956,23	56,8	29,6	36289,15
18	9,5	58,4	28	40558,46	58,5	28	40691,88	58,6	27,9	40958,71
19	10	60,3	26	45761,69	60	26	45361,44	60	26,4	44827,78
20	10,5	62	24,1	50564,66	62,1	24	50831,5	62	24,1	50564,66

Tabel 4.1 Data hasil pengujian pada pipa 1 inch (lanjutan)

no	Debit (LPM)	Percobaan											
		4			5			6			7		
		ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)
1	1	43,6	43,4	266,832	43,5	43,3	266,832	43,7	43,4	400,248	43,6	43,3	400,248
2	1,5	43,8	43,2	800,496	43,8	43,2	800,496	43,9	43,2	933,912	43,8	43,2	800,496
3	2	44,4	43	1867,824	44	43	1334,16	44	43	1334,16	44	43	1334,16
4	2,5	44,5	42,6	2534,904	44,5	42,6	2534,904	44,5	42,7	2401,488	44,4	42,6	2401,488
5	3	45	42,1	3869,064	44,9	42,1	3735,648	45	42,1	3869,064	45	42	4002,48
6	3,5	45,7	41,4	5736,888	45,4	41,6	5069,808	45,5	41,7	5069,808	45,6	41,4	5603,472
7	4	46,2	40,7	7337,88	46,1	41	6804,216	46,2	41	6937,632	46,2	40,6	7471,296
8	4,5	47	40	9339,12	47	40	9339,12	47	40,1	9205,704	47	40	9339,12
9	5	47,8	39,1	11607,19	47,7	39,1	11473,78	47,5	39,5	10673,28	47,8	39	11740,61
10	5,5	48,4	38,5	13208,18	48,5	38,5	13341,6	48,4	38,5	13208,18	48,2	38,6	12807,94
11	6	49,3	37,5	15743,09	49,4	37,5	15876,5	49,5	37,9	15476,26	49,3	37,7	15476,26
12	6,5	50,3	36,2	18811,66	50,5	36,5	18678,24	50	36,6	17877,74	50,9	35,6	20412,65
13	7	51,3	35,3	21346,56	51,5	35,2	21746,81	51,5	35,1	21880,22	51,2	35,5	20946,31
14	7,5	52,3	34,2	24148,3	52,5	34,2	24415,13	52,5	34	24681,96	52,4	34,2	24281,71
15	8	53,7	33	27617,11	54	32,4	28817,86	54	32,6	28551,02	53,2	33	26950,03
16	8,5	55,2	31	32286,67	55,1	31,1	32019,84	55,2	31,1	32153,26	55,3	31	32420,09
17	9	56,9	29,5	36555,98	57,2	29	37623,31	57	29,2	37089,65	56,8	29,7	36155,74
18	9,5	58,5	27,9	40825,3	58,5	28,8	39624,55	58,3	28	40425,05	58,5	28	40691,88
19	10	60,1	26	45494,86	60	26,1	45228,02	60,5	25,9	46161,94	60	26,3	44961,19
20	10,5	61,7	24,5	49630,75	62,1	24	50831,5	62,3	24,2	50831,5	62	23,9	50831,5

Tabel 4.1 Data hasil pengujian pada pipa 1 inch (lanjutan)

no	Debit (LPM)	Percobaan									ΔP rata-rata (N/m ²)
		8			9			10			
		ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	
1	1	43,7	43,5	266,832	43,5	43,3	266,832	43,5	43,3	266,832	346,8816
2	1,5	44	43,2	1067,328	43,7	43,2	667,08	43,7	43,2	667,08	840,5208
3	2	44,2	43	1600,992	44	43,1	1200,744	44	43,1	1200,744	1400,868
4	2,5	44,5	42,4	2801,736	44,4	42,7	2268,072	44,4	42,8	2134,656	2494,8792
5	3	44,8	42,2	3468,816	45	42,1	3869,064	45	42,1	3869,064	3842,3808
6	3,5	45,3	41,7	4802,976	45,4	41,6	5069,808	45,6	41,3	5736,888	5283,2736
7	4	46,1	41	6804,216	46,1	40,9	6937,632	46,1	40,8	7071,048	7097,7312
8	4,5	46,8	40,2	8805,456	46,7	40,2	8672,04	47	40	9339,12	9152,3376
9	5	47,5	39,4	10806,7	47,5	39,3	10940,11	47,8	39,1	11607,19	11367,0432
10	5,5	48,4	38,4	13341,6	48,4	38,5	13208,18	48,5	38,4	13475,02	13248,2088
11	6	49,5	37,5	16009,92	49,1	38,1	14675,76	49,4	37,5	15876,5	15582,9888
12	6,5	50,5	36,2	19078,49	50,6	36,7	18544,82	50,6	36,1	19345,32	19091,8296
13	7	51,5	35,2	21746,81	51,3	35,3	21346,56	51,4	35,3	21479,98	21546,684
14	7,5	52,3	34,3	24014,88	52,5	34,1	24548,54	52,5	34,1	24548,54	24401,7864
15	8	53,4	33,2	26950,03	53,6	32,9	27617,11	53,5	33	27350,28	27910,6272
16	8,5	55	31,4	31486,18	55,2	31,1	32153,26	55,1	31,2	31886,42	32233,3056
17	9	56,6	29,7	35888,9	56,4	30	35221,82	56,7	29,6	36155,74	36502,6176
18	9,5	58,2	28,3	39891,38	58,4	28	40558,46	58,4	28	40558,46	40478,4144
19	10	60,4	25,8	46161,94	59,6	26,6	44027,28	59,9	26,3	44827,78	45281,3904
20	10,5	62,2	24,1	50831,5	61,5	24,7	49097,09	62,3	24,1	50964,91	50497,956

Tabel 4. 2 Data hasil pengujian pada pipa ½ inch

no	Debit (LPM)	percobaan											
		1			2			3			4		
		ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)
1	1	45,5	44,6	1200,744	46,1	44,4	2268,072	45,7	44,6	1467,576	46	44,3	2268,072
2	1,5	46,6	43,7	3869,064	47,3	43,1	5603,472	46,6	43,8	3735,648	47	43,4	4802,976
3	2	48,5	41,9	8805,456	48,6	41,8	9072,288	48,2	42,4	7738,128	49,1	41,3	10406,45
4	2,5	50,5	39,8	14275,51	50,9	39,4	15342,84	50,9	39,7	14942,59	51,1	39,2	15876,5
5	3	53,4	36,6	22413,89	53,5	36,6	22547,3	53,8	36,3	23347,8	54	36,1	23881,46
6	3,5	56,4	33,2	30952,51	56,6	33	31486,18	56,9	32,9	32019,84	57	32,7	32420,09
7	4	60,5	29,1	41892,62	60,7	29	42292,87	62,3	27,3	46695,6	61	28,7	43093,37
8	4,5	65	24,7	53766,65	65	24,6	53900,06	65,7	24	55634,47	67,4	22,2	60304,03
9	5	70	19,4	67508,5	71,4	18	71244,14	70,3	19,2	68175,58	71,2	18,3	70577,06
10	5,5	75,8	13,4	83251,58	76,8	12,3	86053,32	76,2	12,5	84985,99	75,6	13,9	82317,67

Tabel 4.2 Data hasil pengujian pada pipa ½ inch (lanjutan)

no	Debit (LPM)	Percobaan											
		5			6			7			8		
		ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)
1	1	46,2	44,3	2534,904	46,1	44,3	2401,488	46,1	44,2	2534,904	46,2	44,2	2668,32
2	1,5	47,4	43,1	5736,888	47,3	42,2	6804,216	47,4	43	5870,304	47,3	43,1	5603,472
3	2	48,8	41,7	9472,536	48,7	41,8	9205,704	49	41,4	10139,62	49	41,4	10139,62
4	2,5	51	39,5	15342,84	51,1	39,3	15743,09	52,4	38,9	18011,16	51,3	38,9	16543,58
5	3	54,1	36	24148,3	54,1	36	24148,3	55,2	34,5	27617,11	54,7	35,1	26149,54
6	3,5	56,6	33,3	31085,93	57,6	32,1	34021,08	58,2	31,2	36022,32	57,8	31,8	34688,16
7	4	60,7	29	42292,87	62,2	27,4	46428,77	62,1	27,1	46695,6	61,5	28,1	44560,94
8	4,5	65,4	24,2	54967,39	66,4	23,1	57769,13	67,9	21,7	61638,19	62,4	22,1	53766,65
9	5	70,1	19,3	67775,33	72,8	16,8	74712,96	72,6	16,8	74446,13	73	16,6	75246,62
10	5,5	75,7	13,7	82717,92	76,5	12,8	84985,99	76,1	13,1	84052,08	76,6	12,7	85252,82

Tabel 4.2 Data hasil pengujian pada pipa ½ inch (lanjutan)

no	Debit (LPM)	Percobaan						ΔP rata-rata (N/m ²)
		9			10			
		ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	ZS (cm)	ZD (cm)	ΔP (N/m ²)	
1	1	45,8	44,6	1600,992	45,6	44,8	1067,328	2001,24
2	1,5	47,2	43,1	5470,056	47,8	42,7	6804,216	5430,0312
3	2	49,1	41,2	10539,86	49,1	41,3	10406,45	9592,6104
4	2,5	51,7	38,6	17477,5	52,6	38,9	18277,99	16183,3608
5	3	54,3	35,7	24815,38	55	34,9	26816,62	24588,5688
6	3,5	57,9	31,7	34954,99	58,6	31,1	36689,4	33434,0496
7	4	62,1	27,6	46028,52	62,1	27,6	46028,52	44600,9688
8	4,5	67,6	22,1	60704,28	67,7	21,8	61237,94	57368,88
9	5	74,1	16,5	76847,62	72,5	17,2	73779,05	72031,2984
10	5,5	76,1	13,3	83785,25	75,8	13,6	82984,75	84038,7384

4.2.2 Perhitungan Coefficient of Discharge (Cd) pada Pipa 1 Inch

Perhitungan di bawah ini merupakan contoh perhitungan koefisien *discharge* dengan data dari Tabel 4.1 dengan variasi debit 1 LPM.

Diketahui :	D_1	: 27,8 mm = 0,0278 m
	d_2	: 5,282 mm = 0,005282 m
	μ_{Air}	: 0,001 N.s/m ²
	ρ_{Air}	: 1000 kg/m ³
	A_1	: 6,0698 x 10 ⁻⁴ m ²
	A_2	: 2,191 x 10 ⁻⁵ m ²
	ΔP	: 346,8816 N/m ²

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 x 10⁻⁵ m³/s. Maka kecepatan fluida adalah :

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

$$v = \frac{(1,667 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s}}{6,0698 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,02746 \text{ m/s}$$

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

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

$$Re = \frac{(1000 \text{ Kg/m}^3 \times 0,02746 \text{ m/s} \times 0,0278 \text{ m})}{0,001 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 763,495$$

Perhitungan selanjutnya yaitu mencari nilai \dot{V}_{ideal} menggunakan persamaan (2.14).

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

$$\dot{V}_{ideal} = 2,191 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \sqrt{346,8816 \text{ N/m}^2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2,191 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{6,0698 \times 10^{-4} \text{ m}^2}\right)^2}}$$

$$\dot{V}_{ideal} = 1,826 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

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

$$Cd = \frac{1,667 \times 10^{-5}}{1,826 \times 10^{-5}}$$

$$Cd = 0,913$$

4.2.3 Perhitungan Coefficient of Discharge (Cd) pada Pipa ½ Inch

Perhitungan di bawah ini merupakan contoh perhitungan koefisien *discharge* dengan data dari Tabel 4.2 dengan variasi debit 1 LPM.

Diketahui :	D_1	: 18,7 mm = 0,0187 m
	d_2	: 3,55 mm = 0,00355 m
	μ_{Air}	: 0,001 N.s/m ²
	ρ_{Air}	: 1000 kg/m ³
	A_1	: 2,746 x 10 ⁻⁴ m ²
	A_2	: 9,898 x 10 ⁻⁶ m ²
	ΔP	: 2001,24 N/m ²

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 x 10⁻⁵ m³/s. Maka kecepatan fluida adalah :

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

$$v = \frac{1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{2,746 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,0607 \text{ m/s}$$

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

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

$$Re = \frac{(1000 \text{ Kg/m}^3 \times 0,0607 \text{ m/s} \times 0,0187 \text{ m})}{0,001 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 1135,09$$

Perhitungan selanjutnya yaitu mencari nilai \dot{V}_{ideal} menggunakan persamaan (2.14).

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

$$\dot{V}_{ideal} = 9,898 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{1000 \text{ kg/m}^3}} \cdot \sqrt{2001,24 \text{ N/m}^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{9,898 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{2,746 \times 10^{-4} \text{ m}^2}\right)^2}}$$

$$\dot{V}_{ideal} = 1,981 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

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

$$Cd = \frac{1,667 \times 10^{-5}}{1,981 \times 10^{-5}}$$

$$Cd = 0,841$$

4.2.4 Perhitungan Debit Orifice ($\dot{V}_{orifice}$) Pada Pipa PVC 1 inch

Berikut ini adalah contoh perhitungan debit *orifice* dengan data yang diambil dari Tabel 4.1 yaitu pada variasi \dot{V}_{air} 1 LPM :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \dot{V}_{air} & : 1 \text{ LPM} = 1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{V}_{ideal} & : 1,826 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta P_{rata-rata} & : 346,8816 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *Re* dihitung menggunakan persamaan regresi pada grafik *Re* terhadap $\Delta P_{rata-rata}$ pada pipa 1 inch yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.

$$\Delta P = 0,0008Re^2 - 0,3395Re + 262,02$$

$$346,8816 = 0,0008Re^2 - 0,3395Re + 262,02$$

$$0,0008Re^2 - 0,3395Re - 84,861 = 0$$

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

$$Re = \frac{0,3395 + \sqrt{0,3395^2 - 4 \times 0,0008 \times (-84,861)}}{2 \times 0,0008}$$

$$Re = 600,903$$

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 4.2.

$$Cd = 4E - 09Re^2 - 5E - 05Re + 0,9317$$

$$Cd = 4 \times 10^{-9}(600,903^2) - 5 \times 10^{-5}(600,903) + 0,9317$$

$$Cd = 0,903$$

Setelah mengetahui nilai *coefficient of discharge* (*Cd*) maka selanjutnya menentukan debit orifice ($\dot{V}_{orifice}$). Menggunakan persamaan 2.25.

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

$$\dot{V}_{orifice} = 0,903 \times 1,826 \times 10^{-5}$$

$$\dot{V}_{orifice} = 1,649 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2.5 Perhitungan Debit Orifice ($\dot{V}_{orifice}$) Pada Pipa PVC ½ inch

Berikut ini adalah contoh perhitungan debit *orifice* dengan data yang diambil dari Tabel 4.2 yaitu pada variasi \dot{V}_{air} 1 LPM :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \dot{V}_{air} & : 1 \text{ LPM} = 1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{V}_{ideal} & : 1,981 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta P_{rata-rata} & : 2001,24 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0,0022Re^2 - 0,0454Re - 1203,8 \\ 2001,24 &= 0,0022Re^2 - 0,0454Re - 1203,8 \\ 0,0022Re^2 - 0,0454Re - 3205,04 &= 0 \\ Re &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ Re &= \frac{0,0454 + \sqrt{0,0454^2 - 4 \times 0,0022 \times (-3205,04)}}{2 \times 0,0022} \\ Re &= 1217,357 \end{aligned}$$

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 4.4.

$$\begin{aligned} Cd &= 8E - 09Re^2 - 8E - 05Re + 0,9039 \\ Cd &= 8 \times 10^{-9}(1217,357^2) - 8 \times 10^{-5}(1217,357) + 0,9039 \\ Cd &= 0,818 \end{aligned}$$

Setelah mengetahui nilai *coefficient of discharge* (*Cd*) maka selanjutnya menentukan debit orifice ($\dot{V}_{orifice}$). Menggunakan persamaan 2.25.

$$\begin{aligned} \dot{V}_{orifice} &= Cd \cdot \dot{V}_{ideal} \\ \dot{V}_{orifice} &= 0,818 \times 1,981 \times 10^{-5} \\ \dot{V}_{orifice} &= 1,62 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

4.3 Pembahasan

Perhitungan dari hasil penelitian pada *orifice plat meter* pipa 1 dan ½ inch kemudian disajikan dalam bentuk grafik. Hasil perhitungan

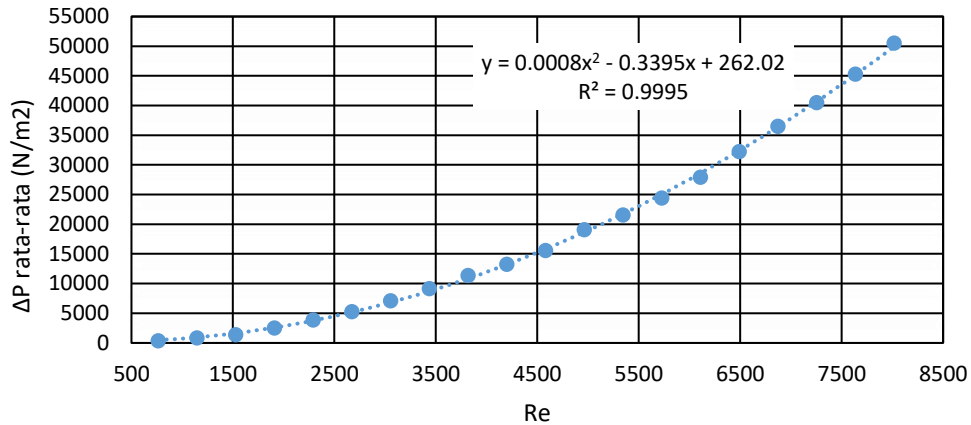
4.3.1 *Coefficient of Discharge (Cd)*, dan *Bilangan Reynolds* pada *Pipa 1 inch*

Hasil perhitungan berupa nilai koefisien *discharge* dan bilangan Reynolds pada pipa 1 inch kemudian dimasukkan kedalam tabel yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Data pada tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik perbandingan nilai Cd, ΔP , dan bilangan Reynolds.

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan bilangan Reynolds (Re), dan *coefficient of discharge* (Cd) pada pipa 1 inch

No	Debit (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)	Re	Cd
1	1	346,882	763,495	0,913
2	1,5	840,521	1145,242	0,880
3	2	1400,868	1526,989	0,909
4	2,5	2494,879	1908,737	0,851
5	3	3842,381	2290,484	0,823
6	3,5	5283,274	2672,231	0,819
7	4	7097,731	3053,979	0,807
8	4,5	9152,338	3435,726	0,800
9	5	11367,043	3817,473	0,797
10	5,5	13248,209	4199,221	0,812
11	6	15582,989	4580,968	0,817
12	6,5	19091,830	4962,715	0,800
13	7	21546,684	5344,463	0,811
14	7,5	24401,786	5726,210	0,816
15	8	27910,627	6107,957	0,814
16	8,5	32233,306	6489,705	0,805
17	9	36502,618	6871,452	0,801
18	9,5	40478,414	7253,199	0,803
19	10	45281,390	7634,947	0,799
20	10,5	50497,956	8016,694	0,794

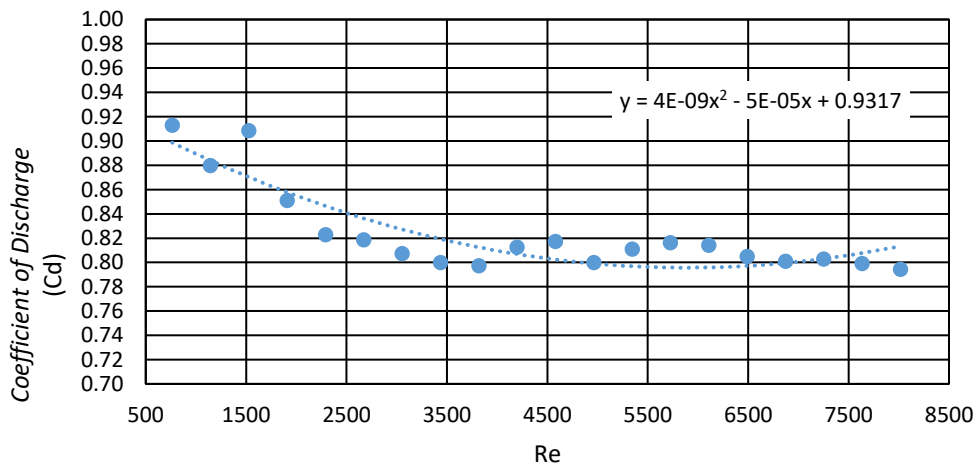
Dari tabel di atas, data perubahan tekanan rata-rata, bilangan Reynolds, dan koefisien *discharge* disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Hubungan Re dengan ΔP pada pipa 1 inch

Keterangan :

$$\Delta P = 0,0008Re^2 - 0,3395Re + 262,02$$



Gambar 4.2 Hubungan Re dengan coefficient of discharge (Cd) pada pipa 1 inch

Keterangan :

$$Cd = 4E - 09Re^2 - 5E - 05Re + 0,9317$$

Grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara ΔP dengan bilangan reynold. Dapat diketahui dari grafik tersebut bahwa perubahan tekanan naik seiring dengan naiknya debit aktual yang terbaca di rotameter. Perubahan tekanan tersebut juga mempengaruhi bilangan Reynolds, semakin besar nilai perubahan tekanan (ΔP) maka bilangan Reynolds juga semakin naik. Bilangan Reynolds mengalami kenaikan seiring bertambahnya perbedaan tekanan karena pada tekanan tinggi debit fluida juga tinggi yang menyebabkan kecepatan fluida tinggi.

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara hasil perhitungan nilai Cd dengan bilangan Reynolds. Tampak pada grafik tersebut nilai Cd pada 1 Lpm sebesar 0,9. Nilai Cd mengalami penurunan pada bilangan Reynolds 3500, dan cenderung konstan sampai bilangan Reynolds 8000 walaupun mengalami sedikit fluktuasi. Nilai Cd mengalami fluktuasi dikarenakan saat pengambilan data kenaikan perubahan tekanan tidak teratur.

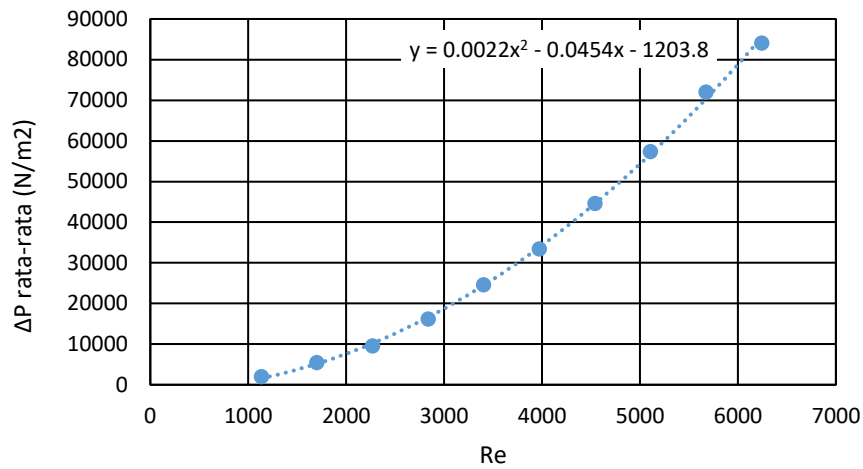
4.3.2 *Coefficient of Discharge (Cd)*, dan *Bilangan Reynolds* pada Pipa ½ Inch

Hasil perhitungan koefisien *discharge* dan bilangan reynold pada pipa ½ inch kemudian diolah menggunakan software Microsoft Excel. Tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.

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

No	Debit (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)	Re	Cd
1	1	2001,24	1135,211	0,841281
2	1,5	5430,03	1702,817	0,766092
3	2	9592,61	2270,422	0,768515
4	2,5	16183,36	2838,028	0,739599
5	3	24588,57	3405,634	0,720021
6	3,5	33434,05	3973,239	0,720385
7	4	44600,97	4540,845	0,712818
8	4,5	57368,88	5108,45	0,707074
9	5	72031,30	5676,056	0,701133
10	5,5	84038,74	6243,662	0,714026

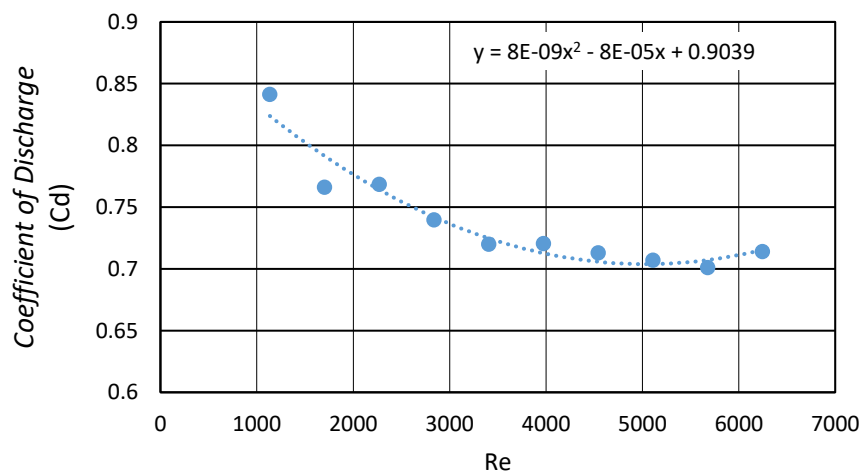
Data perhitungan koefisien *discharge*, dan bilangan Reynolds pada tabel di atas selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3 Hubungan Re dengan ΔP pada pipa $\frac{1}{2}$ inch

Keterangan :

$$\Delta P = 0,0022Re^2 - 0,0454Re - 1203,8$$



Gambar 4.4 Hubungan Re dengan Cd pada Pipa $\frac{1}{2}$ Inch

Keterangan :

$$Cd = 8E - 09Re^2 - 8E - 05Re + 0,9039$$

Grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan hubungan bilangan Reynolds dengan perubahan tekanan rata-rata. Grafik tersebut dapat menunjukkan bahwa perubahan tekanan mengalami kenaikan seiring dengan bertambah besarnya bilangan Reynolds, dengan kata lain nilai perubahan tekanan berbanding lurus dengan nilai bilangan Reynolds.

Gambar 4.4 merupakan grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan nilai koefisien *discharge* (C_d). Pada grafik tersebut dapat menunjukkan bahwa nilai C_d pada bilangan Reynolds terendah nilainya $\pm 0,85$. Setelah bilangan Reynolds naik menjadi ± 3200 nilai C_d mengalami penurunan, kemudian stabil sampai bilangan Reynolds 6300 walaupun mengalami sedikit fluktuasi. Fluktuasi nilai C_d ini disebabkan oleh data perubahan tekanan pada saat pengambilan data kenaikannya tidak teratur.

4.3.3 Perbandingan Debit Orifice ($\dot{V}_{orifice}$) dengan Debit aktual pada Pipa 1 inch

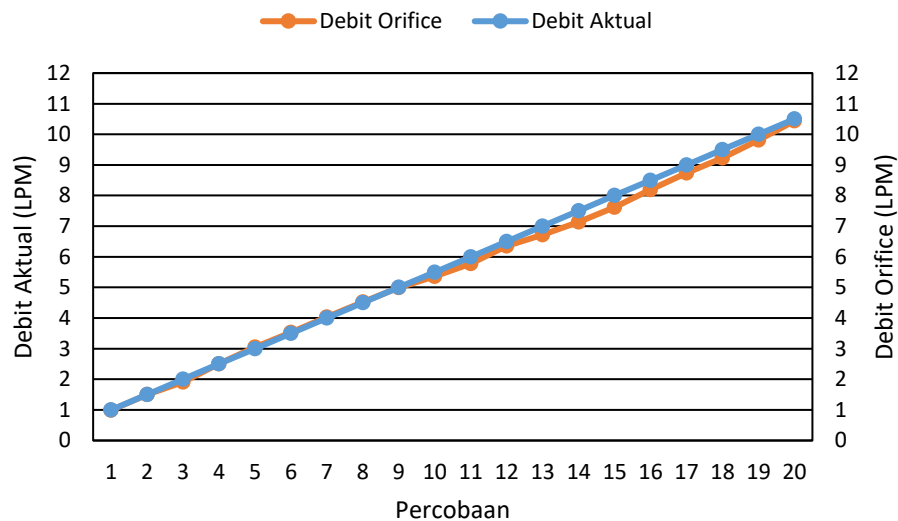
Rumus regresi yang terdapat pada grafik perbandingan ΔP , koefisien *discharge*, dengan bilangan Reynolds kemudian digunakan untuk menghitung nilai debit aktual *orifice*. Hasil perhitungan menggunakan rumus regresi tersebut kemudian diolah kedalam bentuk tabel dan grafik yang selanjutnya dibandingkan dengan debit aktual yang terbaca pada rotameter. Grafik perbandingan debit *orifice* dengan dengan debit aktual rotameter dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan debit orifice ($\dot{V}_{orifice}$) pada pipa 1 inch

Percobaan	Debit Aktual (LPM)	C_d	$\dot{V}_{orifice}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (%)
1	1	0,903	0,99	0,01	1
2	1,5	0,882	1,50	0,00	0
3	2	0,868	1,91	0,09	4
4	2,5	0,851	2,50	0,00	0
5	3	0,836	3,05	0,05	2
6	3,5	0,825	3,53	0,03	1
7	4	0,814	4,03	0,03	1
8	4,5	0,804	4,53	0,03	1
9	5	0,796	5,00	0,00	0
10	5,5	0,791	5,36	0,14	3
11	6	0,786	5,77	0,23	4
12	6,5	0,781	6,35	0,15	2
13	7	0,778	6,72	0,28	4
14	7,5	0,776	7,14	0,36	5
15	8	0,775	7,62	0,38	5
16	8,5	0,775	8,19	0,31	4

Percobaan	Debit Aktual (LPM)	Cd	$\dot{V}_{orifice}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (%)
17	9	0,777	8,74	0,26	3
18	9,5	0,779	9,23	0,27	3
19	10	0,784	9,81	0,19	2
20	10,5	0,789	10,44	0,06	1

Dari Tabel 4.5 di atas, selanjutnya data debit hasil perhitungan dan debit aktual diolah menjadi grafik perbandingan. Grafik perbandingan debit aktual dan debit orifice hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.5 Perbandingan debit aktual dengan debit hasil perhitungan pada pipa 1 in

Gambar di atas dapat menunjukkan bagaimana perbedaan debit aktual yang terbaca di rotameter dengan debit *orifice* hasil perhitungan. Tampak dari grafik di atas kedua debit sama-sama mengalami kenaikan. Selisih debit tertinggi pada grafik di atas terjadi pada percobaan 15, yaitu sebesar 0,38 LPM. Terjadinya selisih antara kedua debit disebabkan oleh pompa yang mungkin kurang stabil pada debit tinggi yang menyebabkan nilai perubahan tekanan yang terbaca pada manometer U tidak presisi.

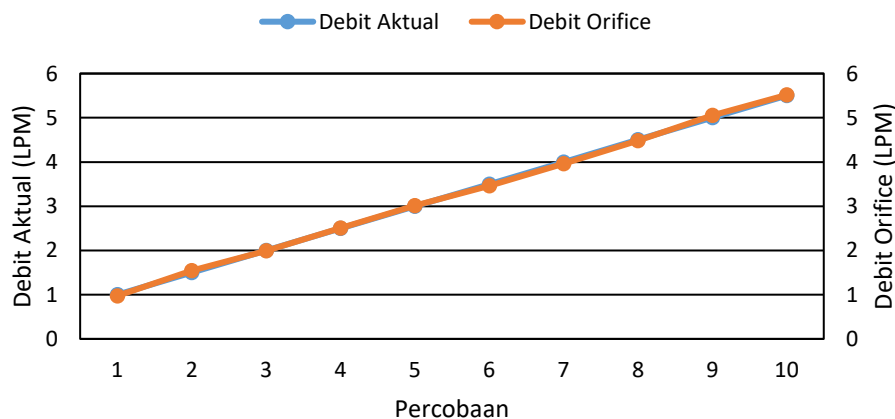
4.3.4 Perbandingan Debit Orifice ($\dot{V}_{orifice}$) dengan Debit aktual pada Pipa $\frac{1}{2}$ inch

Rumus regresi yang terdapat pada grafik perbandingan ΔP , koefisien *discharge*, dengan bilangan Reynolds kemudian digunakan untuk menghitung nilai debit aktual *orifice*. Hasil perhitungan menggunakan rumus regresi tersebut kemudian diolah kedalam bentuk tabel dan grafik yang selanjutnya dibandingkan dengan debit aktual yang terbaca pada rotameter. Grafik perbandingan debit *orifice* dengan dengan debit aktual rotameter dapat dilihat pada Gambar 4.6

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan debit orifice ($\dot{V}_{orifice}$) pada pipa $\frac{1}{2}$ inch

Percobaan	Debit Aktual (LPM)	Cd	$\dot{V}_{orifice}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (%)
1	1	0,818	0,97	0,03	3
2	1,5	0,788	1,54	0,04	3
3	2	0,765	1,99	0,01	0
4	2,5	0,741	2,51	0,01	0
5	3	0,723	3,01	0,01	0
6	3,5	0,712	3,46	0,04	1
7	4	0,705	3,96	0,04	1
8	4,5	0,704	4,48	0,02	0
9	5	0,708	5,05	0,05	1
10	5,5	0,716	5,52	0,02	0

Dari Tabel 4.6 di atas, selanjutnya 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 debit aktual dengan debit hasil

perbandingan pada pipa ½ inch.

Selisih debit tertinggi pada grafik diatas terjadi pada perobaan 15, yaitu sebesar 0,38 LPM. Terjadinya selisih antara kedua debit disebabkan oleh pompa yang mungkin kurang stabil pada debit tinggi yang menyebabkan pembacaan nilai perubahan tekanan pada manometer U tidak presisi.

4.3.5 Prediksi Debit Aktual (\dot{V}_{aktual}) pada Pipa 1 inch

Hipotesis yang menyatakan bahwa apabila nilai rasio beta *orifice* sama maka dapat digunakan untuk memprediksi debit pada ukuran pipa yang berbeda harus dibuktikan. Dengan rasio beta yang sama, maka koefisien *discharge* pada kedua pipa juga sama. Koefisien *discharge* yang sama bisa digunakan untuk menghitung debit dengan ukuran pipa yang berbeda. Penelitian ini mengasumsikan nilai deviasi koefisien *discharge* maksimal 15 %, maka nilai koefisien *discharge* pada kedua pipa dianggap sama. Asumsi tersebut didapatkan dari penelitian terdahulu oleh Rosadi (2018).

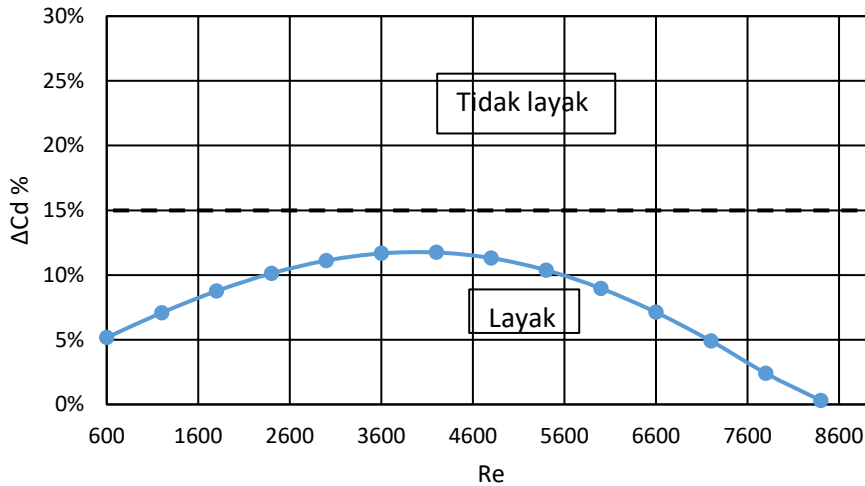
Sebelum dilakukan perhitungan prediksi debit aktual pada pipa 1 inch, nilai koefisien *discharge* pada masing-masing pipa dihitung kembali dengan rumus regresi yang dapat dilihat pada grafik Cd terhadap Re pada masing-masing pipa. Perhitungan kembali nilai koefisien *discharge* ini bertujuan agar bilangan Reynolds pada masing-masing pipa sama, yang nantinya dapat dibuat grafik perbandingan antara nilai deviasi koefisien *discharge* dengan bilangan Reynolds kedua pipa. Di bawah ini merupakan tabel hasil perhitungan kembali nilai Cd pada masing-masing pipa.

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan kembali nilai Cd pada pipa 1 dan ½ inch

Re	Cd 1 inch	Cd ½ Inch	ΔCd	ΔCd (%)
600	0,903	0,859	0,044	5%
1200	0,877	0,819	0,058	7%
1800	0,855	0,786	0,069	9%
2400	0,835	0,758	0,077	10%
3000	0,818	0,736	0,082	11%
3600	0,804	0,720	0,084	12%
4200	0,792	0,709	0,083	12%
4800	0,784	0,704	0,080	11%
5400	0,778	0,705	0,073	10%
6000	0,776	0,712	0,064	9%
6600	0,776	0,724	0,052	7%
7200	0,779	0,743	0,036	5%
7800	0,785	0,767	0,018	2%

8400	0,794	0,796	0,002	0%
------	-------	-------	-------	----

Nilai ΔC_d dan Re pada tabel di atas kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hubungan ΔC_d (%) terhadap Re pada pipa 1 dan 1/2 inch

Grafik ΔC_d (%) terhadap Re di atas menunjukkan bahwa nilai ΔC_d mengalami fluktuasi. Fluktuasi ini bisa disebabkan oleh kenaikan perubahan tekanan tidak teratur. Nilai deviasi koefisien discharge tertinggi terjadi pada bilangan Reynolds 4200 sebesar 12 %. Dari grafik diatas nilai $\Delta C_d \leq 15\%$ pada bilangan Reynolds 600 - 8600, maka diasumsikan nilai C_d pada pipa 1/2 inch sama dengan nilai C_d pada pipa 1 inch ($C_{d1} = C_{d2}$). Berdasarkan asumsi tersebut maka hipotesis ini dapat digunakan untuk memprediksi debit air pada ukuran pipa yang berbeda tapi dengan rasio beta yang sama. Untuk menghitung debit air pada ukuran pipa yang berbeda dapat digunakan persamaan 4.1 di bawah ini :

$$\frac{\dot{V}_{aktual\ 2}}{\dot{V}_{ideal\ 2}} = C_{d2} = C_{d1} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_{ideal\ 1}} \dots\dots\dots(4.1)$$

- Dengan : $\dot{V}_{aktual\ 1}$ = $\dot{V}_{aktual\ 1}$ pada pipa 1/2 inch (m^3/s)
- $\dot{V}_{ideal\ 1}$ = $\dot{V}_{ideal\ 1}$ pada pipa 1/2 inch (m^3/s)
- C_{d1} = Coefficient of discharge pada pipa 1/2 inch (m^3/s)
- $\dot{V}_{aktual\ 2}$ = $\dot{V}_{aktual\ 2}$ pada pipa 1 inch (m^3/s)
- $\dot{V}_{ideal\ 2}$ = $\dot{V}_{ideal\ 2}$ pada pipa 1 inch (m^3/s)
- C_{d2} = Coefficient of discharge pada pipa 1 inch (m^3/s)

Persamaan 4.1 kemudian diaplikasikan untuk menghitung debit aktual (\dot{V}_{aktual}) pada pipa 1 inch. Sebagai contoh perhitungan, diambil dari data percobaan kedua pada masing-masing pipa. Berikut ini adalah contoh perhitungan prediksi debit aktual (\dot{V}_{aktual}) pada pipa 1 inch :

$$\dot{V}_{aktual\ 2} = Cd_1 \cdot \dot{V}_{ideal\ 2}$$

Dengan :

$$\dot{V}_{aktual\ 2} = \text{Debit prediksi pipa 1 inch (LPM)}$$

$$Cd_1 = \text{coefficient of discharge pipa } \frac{1}{2} \text{ inch}$$

$$\dot{V}_{ideal\ 2} = \text{Debit ideal pipa 1 inch (m}^3\text{/s)}$$

$$\dot{V}_{aktual\ 2} = Cd_1 \cdot \dot{V}_{ideal\ 2}$$

$$\dot{V}_{aktual\ 2} = 0,788 \cdot 0,00002843 \text{ m}^3\text{/s}$$

$$\dot{V}_{aktual\ 2} = 2,243 \times 10^{-5} \text{ m}^3\text{/s}$$

$$\dot{V}_{aktual\ 2} = 1,34 \text{ LPM}$$

Perhitungan debit prediksi diatas memiliki perbedaan dengan debit *orifice* hasil perhitungan. Data dari percobaan kedua pada pipa 1 in menghasilkan debit *orifice* sebesar 1,5 LPM, sedangkan perhitungan debit prediksi sebesar 1,34 LPM. Selisih kedua debit sebesar 0,16 LPM. Setelah dilakukan perhitungan debit prediksi pada pipa 1” kemudian diolah menjadi tabel yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan debit prediksi pipa 1 inch

No	$\dot{V}_{orifice}$ (LPM)	\dot{V}_{ideal} Pipa 1” (m ³ /s)	Cd Pipa ½”	Debit Prediksi pipa 1” (LPM)	ΔQ (LPM)	ΔQ (%)
1	0,99	0,00001826	0,818	0,90	0,09	9%
2	1,50	0,00002843	0,789	1,34	0,16	11%
3	1,91	0,00003670	0,765	1,69	0,23	12%
4	2,50	0,00004897	0,742	2,18	0,32	13%
5	3,05	0,00006078	0,724	2,64	0,41	14%
6	3,53	0,00007127	0,712	3,05	0,48	14%
7	4,03	0,00008260	0,705	3,50	0,54	13%
8	4,53	0,00009380	0,704	3,96	0,57	12%
9	5,00	0,00010454	0,709	4,44	0,55	11%
10	5,36	0,00011285	0,716	4,85	0,51	10%

Tabel perhitungan di atas menunjukkan bagaimana selisih atau perbedaan dari debit *orifice* dengan debit prediksi. Selisih tertinggi terdapat pada nomer 5 dan 6 yaitu sebesar 14 %. Maka dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa plat *orifice* dengan rasio beta 0,19 mampu digunakan untuk memprediksi debit pada diameter pipa PVC 1” walaupun terjadi selisih mencapai 14 %.

4.3.6 Perbandingan dengan Hasil Penelitian Terdahulu

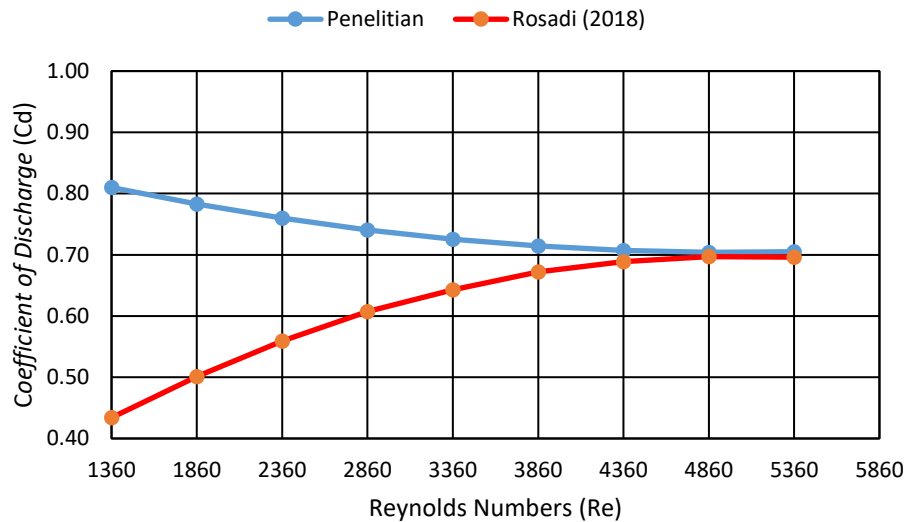
Pengujian *orifice plate meter* sebagai alat ukur debit fluida pada penelitian ini memiliki beberapa perbedaan dengan penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Rosadi (2018) menggunakan plat *orifice* dengan rasio beta 0,19 pada pipa PVC ½” dan ¾”, sedangkan pada penelitian ini pipa PVC ¾” diganti dengan pipa 1”. Alat ukur tekanan yang digunakan adalah *differential pressure gauge*, sedangkan pada penelitian ini menggunakan Manometer U. Lubang tekanan pada flange (*pressure taps*) pada penelitian Rosadi menggunakan jenis yang tidak diketahui apa standarnya, sedangkan pada penelitian ini menggunakan jenis *Radius taps* berstandar ISO 5156-2:2003. Perbandingan nilai Cd pada pipa PVC ½” hasil penelitian ini dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Tabel 4.9 Hasil perbandingan nilai Cd ½” dengan penelitian Rosadi (2018)

No	Re	Cd ½” penelitian	Cd ½” Rosadi (2018)	ΔCd	ΔCd %
1	1360	0,810	0,434	0,376	46%
2	1860	0,783	0,501	0,282	36%
3	2360	0,760	0,559	0,201	26%
4	2860	0,741	0,607	0,134	18%
5	3360	0,725	0,643	0,082	11%
6	3860	0,714	0,672	0,042	6%
7	4360	0,707	0,689	0,018	3%
8	4860	0,704	0,697	0,007	1%
9	5360	0,705	0,696	0,009	1%

Hasil perbandingan nilai Cd pipa ½” antara hasil penelitian ini dengan penelitian Rosadi memiliki perbedaan yang cukup besar. Nilai perbedaan tertinggi sebesar 46 % pada bilangan

Reynolds 1360. Nilai perbedaan ini kemudian mengalami penurunan sampai 1% pada bilangan Reynolds 4860. Tabel hasil perbandingan di atas kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Perbandingan nilai Cd $\frac{1}{2}$ " penelitian dengan Cd $\frac{1}{2}$ " Rosadi (2018)

Gambar di atas menunjukkan bagaimana hasil perbandingan nilai Cd $\frac{1}{2}$ " penelitian ini dengan penelitian Rosadi (2018). Telah diketahui bahwa semakin tinggi nilai koefisien *discharge* maka perhitungan nilai debit aktual juga semakin presisi. Faktor yang menyebabkan nilai koefisien *discharge* berbeda antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah penggunaan alat ukur tekanan dan juga jenis *pressure taps*.

Penelitian terdahulu menggunakan alat ukur tekanan digital (*differential pressure gauge*) HT-1890 yang mana alat ini kurang presisi pada tekanan rendah atau bilangan Reynolds rendah, maka menyebabkan rendahnya nilai koefisien *discharge* pada bilangan Reynolds rendah, akan tetapi alat ini akan berfungsi maksimal pada tekanan tinggi atau pada aliran turbulen. Sedangkan Penelitian ini menggunakan alat ukur tekanan Manometer U yang memiliki nilai kepresisian yang cukup tinggi, dapat dilihat dalam grafik diatas bahwa nilai koefisien *discharge* pada bilangan Reynolds rendah memiliki nilai yang cukup tinggi. Sedangkan penggunaan jenis *pressure taps* yang berbeda akan mempengaruhi nilai perubahan tekanan pada saat pengambilan data. Penggunaan jenis *pressure taps* yang sesuai pada alat uji akan mendapatkan nilai tekanan paling kecil dan kecepatan aliran fluida paling maksimum pada sisi *downstream*.