

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis akan melakukan analisis dan pembahasan tentang hasil dari penelitian dengan variasi yang telah dilaksanakan. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui pengaruh nilai rasio $\beta = d/D = 0,16$ dari plat orifice yang dipasang pada pipa $\frac{1}{2}$ inch dan 1 inch. Dalam penelitian ini dilakukan pengaturan debit aliran fluida yang akan masuk melewati plat orifice dengan menggunakan rotameter, kemudian mengamati perubahan tekanan yang terjadi. Hasil dari pengamatan terjadinya perubahan tekanan kemudian digunakan guna mencari nilai ΔP , \dot{V}_{ideal} , \dot{V}_{aktual} , selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan persamaan tertentu untuk memperoleh nilai dari *coeffisien of discharge* (Cd). Hasil dari perhitungan dengan berbagai variasi kemudian diolah menjadi dalam bentuk tabel dan grafik guna melakukan analisis yang lebih lanjut.

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Data Hasil

Berikut ini merupakan data dari hasil pengambilan data pada saat melakukan pengujian dengan beberapa variasi. Data hasil disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada tabel 4.1 untuk hasil pengujian pada pipa berdiameter $\frac{1}{2}$ inch sedangkan data hasil pengujian pada pipa berdiameter 1 inch dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 1 Data hasil percobaan pada pipa berdiameter ½ inch

NO	Debit(LPM)	Percobaan									
		1		2		3		4		5	
		Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
1	1	46,1	44,2	46,3	43,8	46,2	44,2	46	43,6	46,4	44
2	1,5	47,7	42,6	47,5	42,8	47,6	42,8	47,6	42,7	48	42,6
3	2	49,1	41	49,2	41,1	49,5	40,9	49,1	41,1	49,9	40,6
4	2,5	52,1	37,9	52,2	38	53	37,2	52,4	37,7	53,1	37
5	3	56,4	33,3	56	33,6	56,5	33,1	55,8	33,8	57,1	32,2
6	3,5	59,6	31,1	58,6	31	60,4	29,1	60,6	28,8	60,2	29,4
7	4	65,4	23,8	64	25,5	66,5	23,3	66	23,4	65,1	24,3
8	4,5	69,9	19,6	70	19,1	71,5	18	71,3	17,8	71,1	18,2
9	5	76,5	12,8	76,6	12,3	76,5	12,5	77,4	11,9	76,9	12,1

Tabel 4. 1 Data hasil percobaan pada pipa berdiameter ½ inch (lanjutan)

NO	Debit(LPM)	Percobaan									
		6		7		8		9		10	
		Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
1	1	46,3	44,2	46,4	43,9	46,2	44,2	46,3	44,2	46,2	44,3
2	1,5	47,7	42,8	48	42,4	47,8	42,7	47,4	43,1	47,9	42,6
3	2	49,7	41,3	49,5	40,8	49,6	40,7	49,8	38,2	49,6	40,9
4	2,5	52,6	37,6	52,1	38,1	52,7	37,4	52,1	38,3	52,7	37,6
5	3	56,1	33,5	56,1	33,4	56,8	32,6	55,7	34	56,5	33,1
6	3,5	61	28,4	60,2	29,4	61,3	28,3	59,5	30	60,8	28,8
7	4	66,1	23,2	65,2	24,2	66,8	23,8	65,3	25	65,7	23,8
8	4,5	71,1	18,2	71,7	17,5	71	18,5	69,5	20	71,6	17,7
9	5	76,8	12,1	77,8	11,4	77,2	12,1	76,7	12,2	76,5	12,6

Tabel 4. 2 Data hasil percobaan pada pipa berdiameter 1 inch

NO	Debit(LPM)	Percobaan									
		1		2		3		4		5	
		Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
1	1	43,6	43	43,7	43,1	43,7	43,1	43,9	43,2	43,8	43,1
2	1,5	44	42,6	44	42,8	43,9	43	44	43	44	42,9
3	2	44,4	42,4	44,4	42,4	44,3	42,5	44,8	42,3	44,6	42,1
4	2,5	45,4	41,3	45,4	41,3	45,3	41,4	45,4	41,6	45,1	41,3
5	3	47	39,8	47	40	46,3	40,4	47	40,1	46,9	40,1
6	3,5	47,8	39,1	47,7	39,3	47,6	39,3	48	39,1	48,1	38,9
7	4	48,2	38,7	49,3	37,4	49,2	27,8	49,2	38,1	48,4	38,6
8	4,5	49,2	37,6	49,5	37,5	49,5	37,6	50	37,2	50	31
9	5	51	36	50,7	36,3	50,6	36,3	51	36	51,1	35,9
10	5,5	52,7	34,3	51,8	35,1	51,9	35,1	52,5	34,4	52,7	34,2
11	6	54	33	53,8	33,3	53,4	33,2	54,1	32,8	54,2	32,6
12	6,5	56	31	55,3	31,2	55,6	30,8	55,9	31	55,5	31,2
13	7	57,5	29,4	57,4	29,2	57,5	29,1	57,8	29,1	57,5	29,2
14	7,5	60,2	26,7	59,5	27,1	59,4	27,2	59,6	27,1	59,6	26,9
15	8	62,5	24,4	61,4	25,1	61,3	25,2	62,3	24,4	63,3	24,1
16	8,5	65	22	65	22	64,8	21,9	65,5	21	64,3	22,2

Tabel 4. 2 Data hasil percobaan pada pipa berdiameter 1 inch (lanjutan)

NO	Debit(LPM)	Percobaan									
		6		7		8		9		10	
		Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
1	1	43,6	43,1	43,8	43,2	43,7	43,1	43,8	43,2	43,7	43,2
2	1,5	43,9	42,9	44,1	42,9	44	42,9	44,1	42,9	44,1	42,9
3	2	44,5	42,3	44,5	42,5	44,4	42,4	44,5	42,5	44,6	42,4
4	2,5	45,5	41,8	45,3	41,7	45	41,8	45,3	41,6	45,3	41,7
5	3	46,1	40,8	46,1	40,8	46	40,8	46,1	40,9	46,2	40,8
6	3,5	46,8	40,1	47	40	46,9	39,8	47,1	39,8	47,1	39,8
7	4	48	38,8	48,3	38,6	48,1	38,6	48,4	38,3	48,3	38,5
8	4,5	49,3	37,4	48,6	37,1	49,2	37,4	49,6	37,1	49,4	37,3
9	5	51	35,7	51	35,6	50,5	36,1	50,8	35,9	51	35,7
10	5,5	52,2	34,5	52,4	34,2	52,1	34,6	52,3	34,3	52,5	34,1
11	6	53,9	32,6	54,1	32,4	53,8	32,6	53,9	32,6	53,6	32,8
12	6,5	55,4	31,1	55,5	30,9	55,5	30,9	55,3	30,7	55,6	30,7
13	7	57,1	29,1	57,4	28,9	57,4	28,8	57,2	29,1	57,2	29,1
14	7,5	59,6	26,5	59,7	26,4	59	27,1	59,3	26,7	59,3	26,9
15	8	61,7	24,3	62	24,1	61,8	24,4	61,2	24,8	61,5	24,6
16	8,5	64,1	22	64	22,1	64	22,1	63,7	22,3	64,2	21,8

Keterangan:

\dot{Q}_{air} = Debit aliran fluida air yang masuk melewati plat orifice (LPM)

Z1 = Tekanan pada sisi *upstream* (cmHg)

Z2 = Tekanan pada sisi *downstream* (cmHg)

Dari tabel 4.1 dan tabel 4.2 diketahui setiap pengambilan 1 percobaan dengan variasi debit aliran air yang terbaca pada alat rotameter yaitu 1 hingga 8,5 LPM dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali kemudian diambil nilai dari setiap percobaan. Data dari pengujian ini diharapkan menjadi data yang valid, kemudian dilakukan analisa dan perhitungan untuk memperoleh nilai dari *coefficient of discharge* (Cd).

4.2 Perhitungan

4.2.1 Fully Developed

Perhitungan *fully developed* dilakukan guna memperoleh penempatan posisi tepat dari flange. Posisi yang tepat untuk menempatkan flange orifice yaitu berada pada aliran aliran yang sudah berkembang penuh, agar mendapat data yang valid.

$$\text{Diketahui : } D_1 = 18,2 \text{ mm} = 0,018 \text{ m}$$

$$D_2 = 27,8 \text{ mm} = 0,0278 \text{ m}$$

$$\text{Re} = 2100$$

Perhitungan *fully developed* pada pipa berdiameter ½ inch:

$$\frac{l_l}{D} = 0,006 \cdot \text{Re}$$

$$\frac{l_l}{0,0182} = 0,006 \cdot 2100$$

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

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

Perhitungan *fully developed* untuk pipa berdiameter 1 inch :

$$\frac{l_l}{D} = 0,006 \cdot \text{Re}$$

$$\frac{l_t}{0,0278} = 0,006 \cdot 2100$$

$$l_t = 0,06 \cdot 2100 \cdot 0,0278$$

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

Karena dari hasil perhitungan diperoleh posisi flange terlalu panjang, maka digunakan posisi flange yang sama dengan penelitian sebelumnya yaitu 2,7 m. Dengan catatan menambah penyearah aliran fluida (*tube bundle*) yang dipasang pada posisi setelah pembelokan (*elbow*) diharapkan aliran menjadi berkembang penuh.

4.2.2 Perhitungan *Coefficient of Discharge (Cd)* 1/2 Inch

Perhitungan merupakan perbandingan antara laju aliran fluida aktual yang terbaca pada rotameter dengan laju aliran fluida ideal yang diperoleh dari perhitungan. Sebagai sampel penulis mengambil sebuah data dari tabel 4.1 yaitu pada percobaan satu dengan variasi debit 1LPM dengan data sebagai berikut :

$$\text{Diketahui : } D_1 = 18,7 \text{ mm} = 0,0187 \text{ m}$$

$$d_2 = 2,99 \text{ mm} = 0,00299 \text{ m}$$

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

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$A_1 = 0,0002746 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 7,021 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\Delta P = 2906,594 \text{ N/m}^2$$

Satuan yang digunakan dalam perhitungan yaitu SI, maka dilakukan konversi satuan debit agar menjadi satuan SI, dimana 1LPM setara dengan $1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

Maka :

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

$$v = \frac{(1,667 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s}}{0,0002746 \text{ m}^2}$$

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

Setelah mendapat nilai v , kemudian melakukan perhitungan untuk memperoleh bilangan reynolds dengan menggunakan persamaan 2.31

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

$$\text{Re} = \frac{(1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,0607 \text{ m/s} \times 0,0187 \text{ m})}{0,01 \text{ N.s/m}^2}$$

$$\text{Re} = 1135,09$$

Untuk memperoleh nilai v_{ideal} digunakan persamaan 2.22, yaitu :

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

$$v_{ideal} = 7,021 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \sqrt{2906,594 \text{ N/m}^2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{7,021 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{0,0002746 \text{ m}^2}\right)^2}}$$

$$v_{ideal} = 1,693 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah diperoleh nilai dari v_{ideal} selanjutnya yaitu menentukan nilai coefficient of discharge (Cd), dengan nilai v_{aktual} yang diperoleh dari pembacaan rotameter saat pengujian. Nilai Cd diperoleh melalui persamaan 2.23 :

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

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

$$\text{cd} = \frac{1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{1,693 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$\text{Cd} = 0,984$$

Dari hasil perhitungan dengan variasi yang lebih lanjut akan ditampilkan kedalam bentuk tabel dalam lampiran.

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

Perhitungan merupakan perbandingan antara laju aliran fluida aktual yang terbaca pada rotameter dengan laju aliran fluida ideal yang diperoleh dari perhitungan. Sebagai sampel penulis mengambil sebuah data dari tabel 4.2 yaitu pada percobaan satu dengan variasi debit 1LPM dengan data sebagai berikut.

Diketahui : $D_1 = 27,8 \text{ mm} = 0,0278 \text{ m}$

$$d_2 = 4,45 \text{ mm} = 0,00445 \text{ m}$$

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

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$A_1 = 0,0006069 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 1,555 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\Delta P = 799,98 \text{ N/m}^2$$

Satuan yang digunakan dalam perhitungan yaitu SI, maka dilakukan konversi satuan debit agar menjadi satuan SI, dimana 1LPM setara dengan $1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

Maka :

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

$$v = \frac{(1,667 \times 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s}}{0,0006069 \text{ m}^2}$$

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

Setelah mendapat nilai v , kemudian melakukan perhitungan untuk memperoleh bilangan reynolds dengan menggunakan persamaan 2.31

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

$$\text{Re} = \frac{(1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,02746 \text{ m/s} \times 0,0278 \text{ m})}{0,01 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 763,50$$

Untuk memperoleh nilai v_{ideal} digunakan persamaan 2.22, yaitu :

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

$$v_{ideal} = 1.555 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \frac{\sqrt{\frac{2}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \sqrt{799.98 \text{ N/m}^2}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{1.555 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{0.0006069 \text{ m}^2}\right)^2}}$$

$$v_{ideal} = 1.967 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah diperoleh nilai dari v_{ideal} selanjutnya yaitu menentukan nilai coefficient of discharge (Cd), dengan nilai v_{aktual} yang diperoleh dari pembacaan rotameter saat pengujian. Nilai Cd diperoleh melalui persamaan 2.23 :

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

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

$$cd = \frac{1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{1,967 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$Cd = 0,847$$

Dari hasil perhitungan dengan variasi yang lebih lanjut akan ditampilkan kedalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada tabel 4.4 pada pembahasan.

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

Perhitungan ini merupakan prediksi laju aliran fluida yang melewati plat orifice. Berikut ini merupakan contoh perhitungan debit orifice dengan data yang diambil dari tabel 4.1 dengan variasi \dot{V}_{air} 1 LPM :

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

$$v_{ideal} = 0.00001592 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta P = 2906.594 \text{ N/m}^2$$

Perhitungan nilai Re diperoleh melalui persamaan regresi pada grafik hubungan Re terhadap ΔP rata – rata pada pipa ½ inch yang dapat dilihat pada gambar 4.1.

$$\Delta p = 0,0028 Re^2 - 0,8196Re - 236,76$$

$$2906.594 = 0,0028 Re^2 - 0,8196Re - 236,76$$

$$0,0028 Re^2 - 0,8196Re - 3143.354 = 0$$

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

$$Re = \frac{0,8196 \pm \sqrt{0,8196^2 - 4 \times 0,0028 \times (-3143.354)}}{2 \times 0,0028}$$

$$Re = 1215,958$$

Stelah nilai Re diperoleh, selanjutnya menghitung nilai Cd dengan menggunakan persamaan regresi pada grafik hubungan antara Re terhadap Cd pada pipa berdiameter ½ inch yang dapat dilihat pada gambar 4.2

$$Cd = 4E - 09 Re^2 - 5E - 05Re + 1.0436$$

$$Cd = 4 \times 10^{-9} (1215,958^2) - 5 \times 10^{-5}(1215,958) + 1.0436$$

$$Cd = 0.988$$

Setelah diperoleh nilai dari *coefficient of discharge* kemudian menentukan debit *orifice* ($\dot{V}_{orifice}$) dengan menggunakan persamaan

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

$$\dot{V}_{orifice} = 1,054 \times 0.00001592 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{orifice} = 1,677 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dari hasil perhitungan dengan variasi yang lebih lanjut akan ditampilkan kedalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada tabel 4.5 pada pembahasan.

4.2.5 Perhitungan Debit Orifice (\dot{V}_{orifice}) pada Pipa PVC 1 Inch

Perhitungan ini merupakan prediksi laju aliran fluida yang melewati plat orifice. Berikut ini merupakan contoh perhitungan debit orifice dengan data yang diambil dari tabel 4.1 dengan variasi \dot{V}_{air} 1 LPM :

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

$$v_{\text{ideal}} = 0,00001923 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta P = 799,98 \text{ N/m}^2$$

Perhitungan nilai Re diperoleh melalui persamaan regresi pada grafik hubungan Re terhadap ΔP rata – rata pada pipa ½ inch yang dapat dilihat pada gambar 4.1.

$$\Delta p = 0,0012Re^2 + 0,8435Re - 684,47$$

$$799,98 = 0,0012Re^2 + 0,8435Re - 684,47$$

$$0,001 Re^2 - 0,843Re - 1484,45 = 0$$

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

$$Re = \frac{-0,843 \pm \sqrt{0,843^2 - 4 \times 0,0012 \times (-1484,45)}}{2 \times 0,0012}$$

$$Re = 815,119$$

Stelah nilai Re diperoleh, selanjutnya menghitung nilai Cd dengan menggunakan persamaan regresi pada grafik hubungan antara Re terhadap Cd pada pipa berdiameter ½ inch yang dapat dilihat pada gambar 4.2

$$Cd = 6E - 09 Re^2 - 4E - 05Re + 0,9115$$

$$Cd = 6 \times 10^{-9} (815,119^2) - 4 \times 10^{-5} (815,119) + 0,9115$$

$$Cd = 0,882$$

Setelah diperoleh nilai dari *coefficient of discharge* kemudian menentukan debit orifice (\dot{V}_{orifice}) dengan menggunakan persamaan

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

$$\dot{V}_{orifice} = 0,864 \times 0.00001923 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{orifice} = 1,661 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dari hasil perhitungan dengan variasi yang lebih lanjut akan ditampilkan kedalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada tabel 4.5 pada pembahasan.

4.3 Pembahasan

Dari hasil perhitungan penelitain orifice plat meter pada pipa berdiameter ½ inch dan 1 inch kemudian disajikan kedalam bentuk grafik. Brikut ini merupakan hasil dari perhitungan.

4.3.1 *Coefficient of Discharge* dan *Bilangan Reynolds* Pipa Berdiameter ½ Inch.

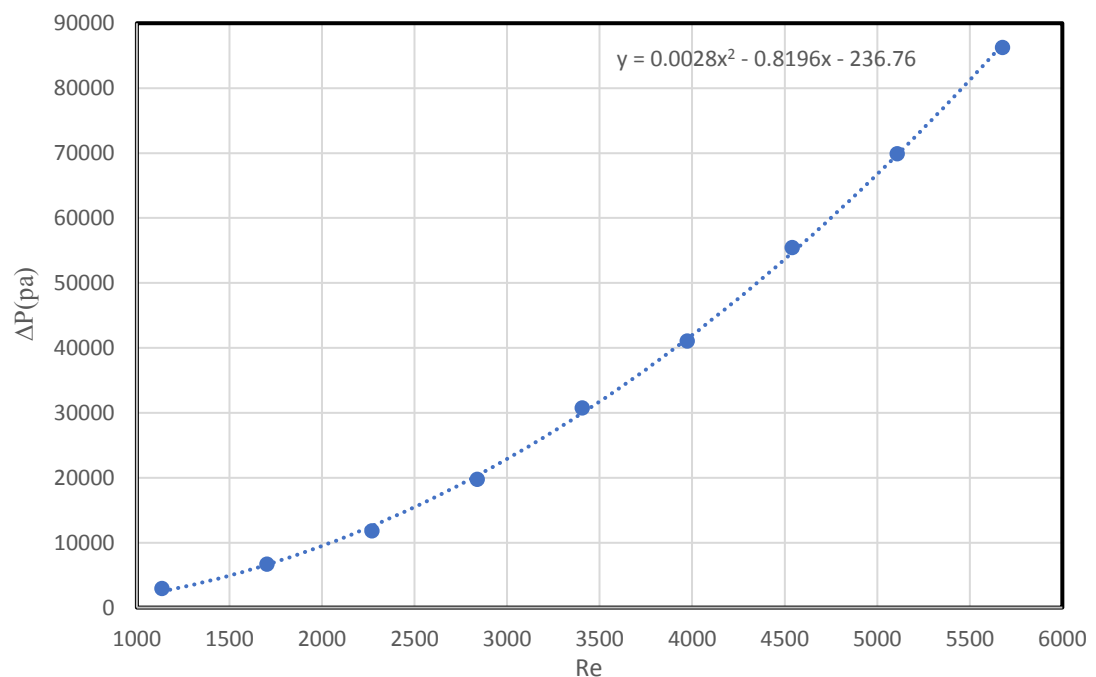
Coefficient of discharge yaitu perbandingan antara v aktual yang terbaca pada rotameter dengan v ideal yang diperoleh dari perhitungan. Nilai coefficient of discharge yang baik yaitu mendekati 1, dimana hal tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan yang terjadi tidak terlalu besar.

Tabel 4. 3 Merupakan data hasil perhitungan bilangan Reynolds (Re), dan coeeficient of discharge (Cd) pada pipa berdiameter ½ inch.

No	Debit (LPM)	ΔP (N/m ²)	rata-rata	Re	Cd
1	1	2906.594		1135.211	0.984
2	1.5	6679.833		1702.817	0.974
3	2	11786.372		2270.422	0.978
4	2.5	19759.506		2838.028	0.944
5	3	30719.232		3405.634	0.908
6	3.5	41052.307		3973.239	0.917

7	4	55438.614	4540.845	0.902
8	4.5	69878.253	5108.450	0.904
9	5	86251.177	5676.056	0.904

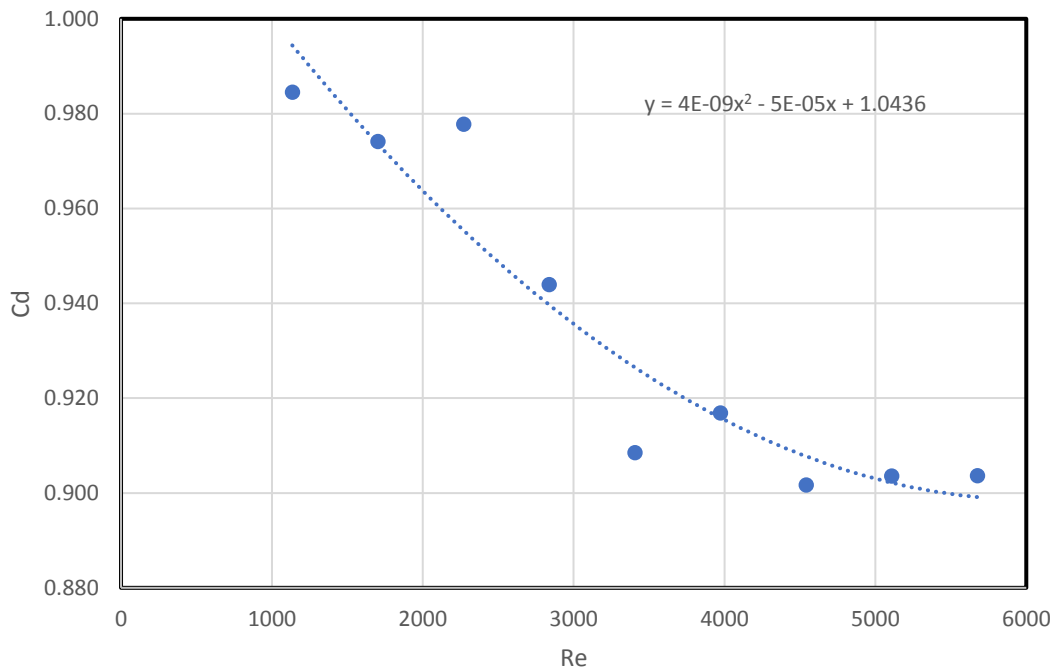
Dari tabel di atas, data perubahan tekanan, bilangan Reynolds, koefisien discharge kemudian disajikan dalam bentuk grafik grafik hubungan yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2



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

keterangan : $\Delta p = 0,0028 Re^2 - 0,8196Re - 236,76$

Grafik pada Gambar 4.1 hubungan antara ΔP dengan bilangan Reynolds. Grafik menunjukkan bahwa perubahan tekanan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan yang debit aktual yang terbaca pada rotameter. Terjadinya perubahan tekanan mempengaruhi nilai dari bilangan Reynolds, semakin besar perubahan tekanan yang terjadi maka akan semakin besar pula bilangan Reynolds (Re).



Gambar 4. 2 Hubungan Re dengan Cd pada pipa berdiameter ½ inch

Keterangan : $Cd = 4 \times 10^{-9}Re^2 - 5 \times 10^{-5}Re + 1,0436$

Grafik pada Gambar 4.2 hubungan antara nilai Cd dengan Re, dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai Cd mengalami penurunan dan berfluktuasi seiring dengan bertambahnya bilangan Reynolds, namun masih tergolong stabil. Nilai Cd berfluktuasi pada bilangan Reynolds 1135.211 hingga 4540.845 setelah itu nilai Cd mendekati konstan.

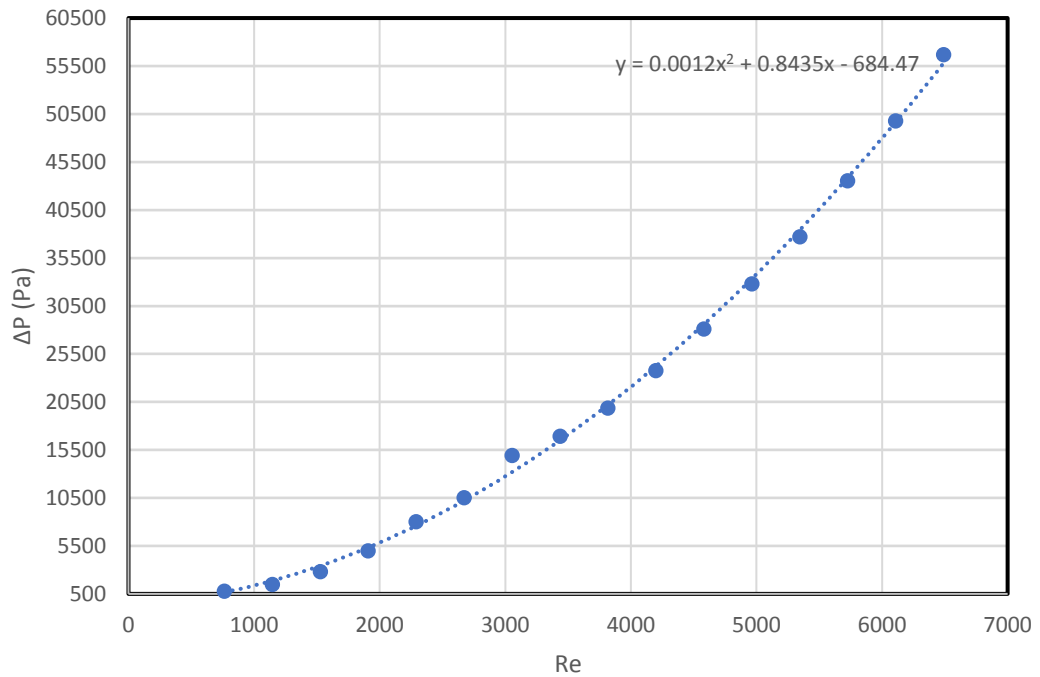
4.3.2 Coefficient of Discharge dan Bilangan Reynolds pada Pipa 1 Inch.

Coefficient of discharge yaitu perbandingan antara v aktual yang terbaca pada rotameter dengan v ideal yang diperoleh dari perhitungan. Nilai coefficient of discharge yang baik yaitu mendekati 1, dimana hal tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan yang terjadi tidak terlalu besar.

Tabel 4. 4 Merupakan data hasil perhitungan secara teoritis bilangan Reynolds (Re), dan coefficient of discharge (Cd) pada pipa berdiameter 1 inch

No	Debit (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)	Re	Cd
1	1	799.98	763.595	0.8473
2	1.5	1506.629	1145.393	0.9261
3	2	2826.596	1527.191	0.9015
4	2.5	4999.875	1908.988	0.8473
5	3	8026.466	2290.786	0.8024
6	3.5	10519.737	2672.584	0.8177
7	4	14932.96	3054.381	0.7844
8	4.5	16946.243	3436.179	0.8284
9	5	19892.836	3817.977	0.8495
10	5.5	23772.739	4199.774	0.8548
11	6	28119.297	4581.572	0.8574
12	6.5	32812.513	4963.370	0.8599
13	7	37732.39	5345.167	0.8636
14	7.5	43545.578	5726.965	0.8613
15	8	49812.088	6108.763	0.8590
16	8.5	56691.916	6490.560	0.8555

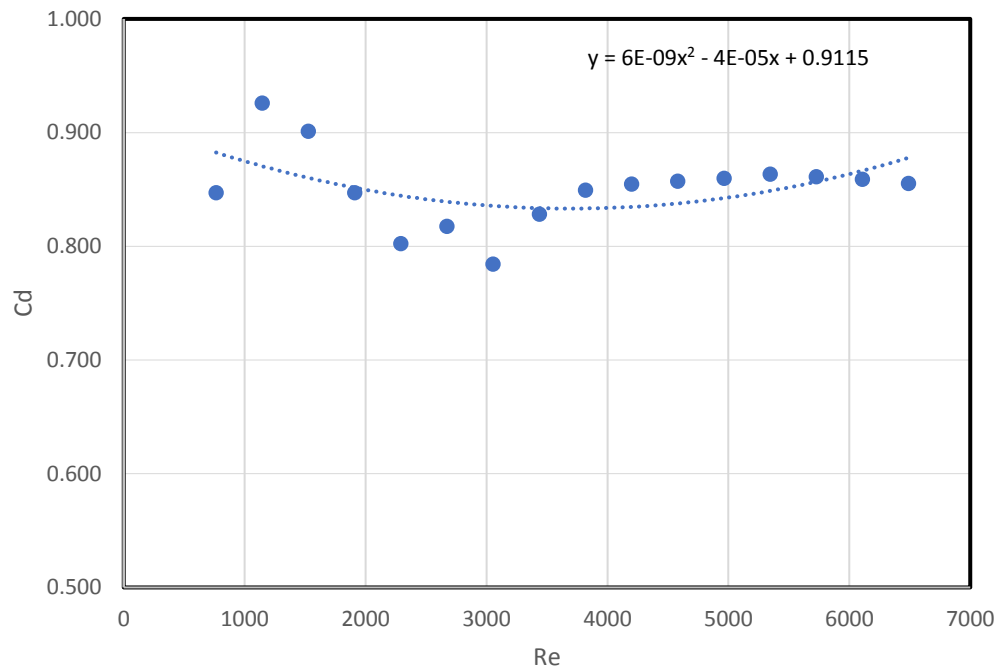
Tabel data perubahan tekanan, bilangan Reynolds, koefisien discharge di atas kemudian disajikan dalam bentuk grafik grafik hubungan yang dapat dilihat pada gambar.



Gambar 4. 3 Hubungan Re dengan ΔP pada pipa berdiameter 1 inch

Keterangan : $\Delta p = 0,001Re^2 - 0,843Re - 684,47$

Gambar 4.3 Hubungan Re dengan ΔP pada pipa berdiameter 1 inch menunjukkan bahwa nilai dari bilangan Reynolds mengalami kenaikan seiring dengan naiknya debit aktual yang terbaca pada rotameter. Kenaikan debit aktual juga mempengaruhi kenaikan nilai dari ΔP . Dari fenomena tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar debit aktual maka semakin besar pula nilai dari ΔP dan bilangan Reynolds (Re).



Gambar 4. 4 Hubungan Re dengan Cd pada pipa berdiameter 1 inch

Keterangan : $Cd = 6E - 09 Re^2 - 4E - 05Re + 0,9115$

Gambar 4.4 grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan Cd pada pipa berdiameter 1 inch, menunjukkan bahwa terjadi penurunan yang berfluktuasi dibagian awal. Terjadinya fluktuasi berada pada bilangan Reynolds 763.595 hingga 3054.381, kemudian dibagian setelah angka Reynold tersebut nilai Cd cenderung konstan.

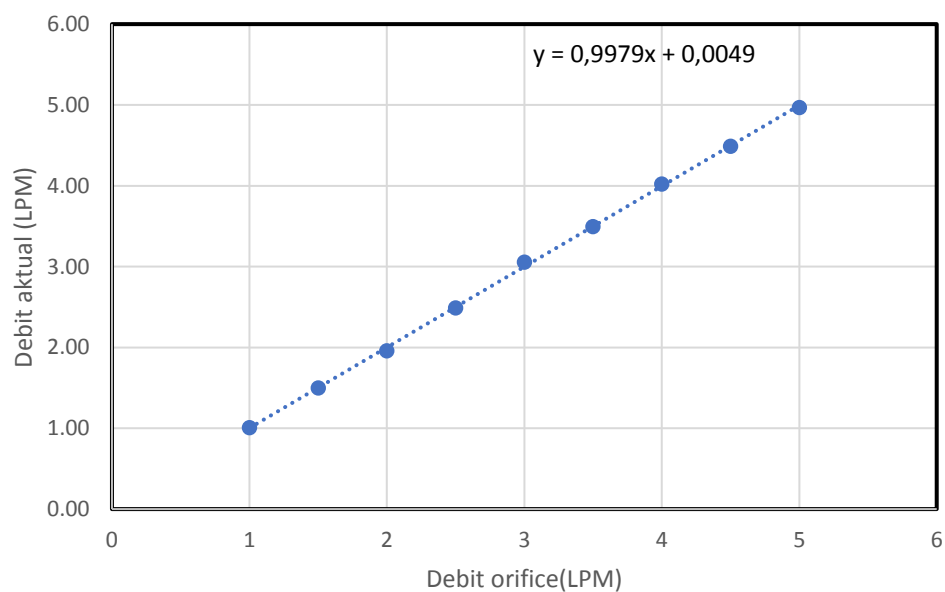
4.3.3 Perbandingan Debit Orifice dengan Debit Aktual Pipa Berdiameter ½ Inch.

Hasil perhitungan yang dilakukan kemudian akan ditampilkan kedalam bentuk tabel. Tabel 4. 4 berikut ini merupakan data hasil dari perhitungan debit orifice pada pipa ½ inch.

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan debit *orifice* pipa berdiameter ½ inch.

Percobaan	Debit Aktual (LPM)	$\dot{V}_{orifice}$ = $C_d \cdot v_{ideal}$ (LPM)	$\Delta \dot{v}$	
1	1	1.01	-1%	-0.01
2	1,5	1.50	0%	0.00
3	2	1.96	2%	0.04
4	2,5	2.49	0%	-0.01
5	3	3.06	2%	0.06
6	3,5	3.50	0%	0.00
7	4	4.02	-1%	-0.02
8	4,5	4.49	0%	0.01
9	5	4.97	-1%	-0.03

Tabel di atas selanjutnya data diolah menjadi grafik perbandingan antara debit aktual dengan debit *orifice* dari perhitungan yang dilakukan. Grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Perbandingan debit aktual dengan debit *orifice* pada pipa ½ inch.

Grafik perbandingan pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa debit aktual dan debit orifice mengalami kenaikan seiring dengan variasi percobaan yang dilakukan. Selisih antara debit aktual dan debit orifice yang terjadi tidak terlalu besar berkisar pada -1% hingga 2% hal tersebut menunjukkan bahwa debit aktual dan debit orifice cenderung identik.

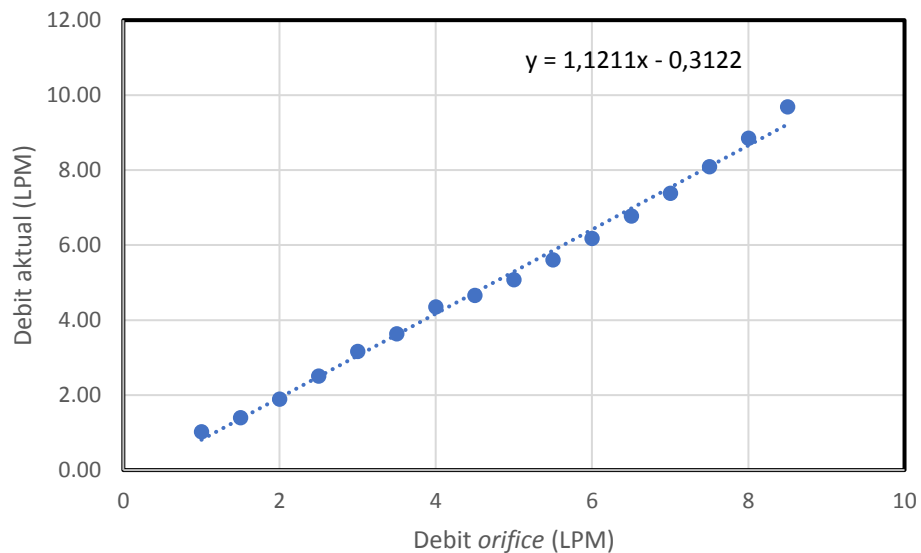
4.3.4 Perbandingan Debit Orifice dengan Debit Aktual Pipa Berdiameter 1 Inch.

Hasil dari perhitungan yang dilakukan kemudian data ditampilkan kedalam bentuk tabel. Tabel 4.5 berikut ini merupakan data hasil dari perhitungan debit orifice pada pipa 1 inch.

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan debit *orifice* pipa berdiameter 1 inch.

Percobaan	Debit Aktual (LPM)	$\dot{V}_{orifice}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ (LPM)	$\Delta\dot{V}$ %
1	1	1.02	0.02	2%
2	1,5	1.39	-0.11	-7%
3	2	1.89	-0.11	-5%
4	2,5	2.50	0.00	0%
5	3	3.16	0.16	5%
6	3,5	3.63	0.13	4%
7	4	4.35	0.35	9%
8	4,5	4.65	0.15	3%
9	5	5.07	0.07	1%
10	5,5	5.60	0.10	2%
11	6	6.17	0.17	3%
12	6,5	6.77	0.27	4%
13	7	7.38	0.38	5%
14	7,5	8.09	0.59	8%
15	8	8.85	0.85	11%
16	8,5	9.68	1.18	14%

Tabel di atas selanjutnya diolah menjadi grafik perbandingan antara debit aktual dengan debit *orifice* dari perhitungan yang dilakukan. Grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Perbandingan debit aktual dengan debit orifice pipa 1 inch.

Grafik perbandingan pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa debit aktual dan debit orifice mengalami kenaikan seiring dengan variasi percobaan yang dilakukan. Selisih antara debit aktual dan debit orifice berfluktuasi yang berkisar pada -7% sampai 14%. Penyimpangan yang terjadi pada grafik diatas masih tergolong baik karena tidak terlalu jauh.

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

Sebelum dilakukan perhitungan prediksi debit aktual pada pipa berdiameter 1 inch penulis menghitung kembali nilai dari koefisien discharge masing – masing pipa menggunakan persamaan regresi yang diperoleh dari grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan nilai Cd. Perhitungan dilakukan kembali dengan tujuan untuk menyamakan bilangan Reynolds pada setiap nilai Cd. Selanjutnya dengan bilangan Reynold yang sama data disajikan kedalam bentuk grafik perbandingan

antara nilai deviasi koefisien discharge dengan bilangan Reynolds kedua pipa. Data hasil perhitungan nilai Cd baru dapat dilihat pada tabel 4.6 di bawah ini.

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

Re	Cd ½ Inch	Cd 1 inch	ΔCd	ΔCd (%)
800	1.006	0.883	0.123	12%
1200	0.989	0.872	0.117	12%
1600	0.974	0.863	0.111	11%
2000	0.960	0.856	0.104	11%
2400	0.947	0.850	0.097	10%
2800	0.935	0.847	0.088	9%
3200	0.925	0.845	0.080	9%
3600	0.915	0.845	0.070	8%
4000	0.908	0.848	0.060	7%
4400	0.901	0.852	0.049	5%
4800	0.896	0.858	0.038	4%
5200	0.892	0.866	0.026	3%
5600	0.889	0.876	0.013	2%
6000	0.888	0.888	0.000	0%

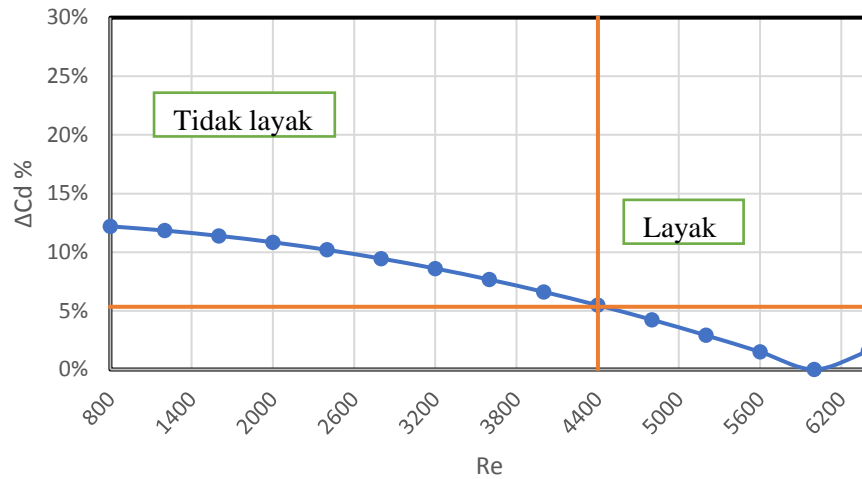
Data hasil pada tabel di atas selanjutnya data akan disajikan kedalam bentuk grafik hubungan antara nilai Cd dengan Re pipa berdiameter 1 dan ½ inch yang dapat dilihat pada gambar 4.7, 4.8, dan 4.9.

Tabel 4. 8 Batas kelayakan

Δ Cd (%)	Re
5	4400 - 6200
10	2600 - 6200

15

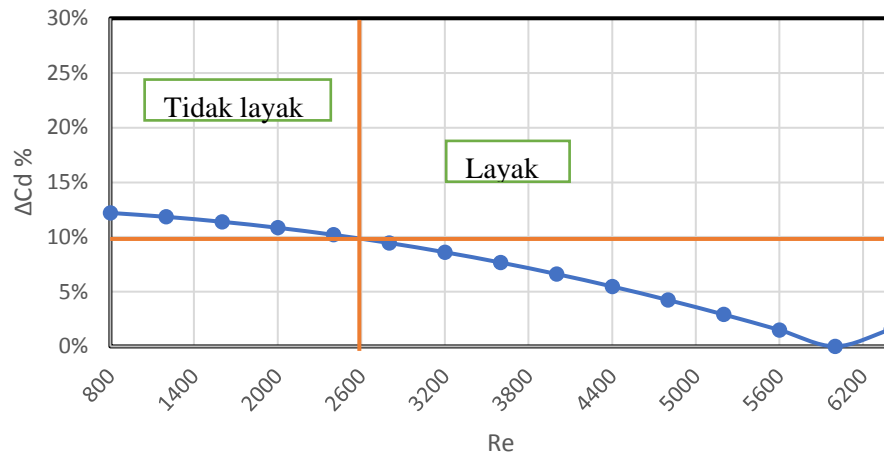
800 - 6200



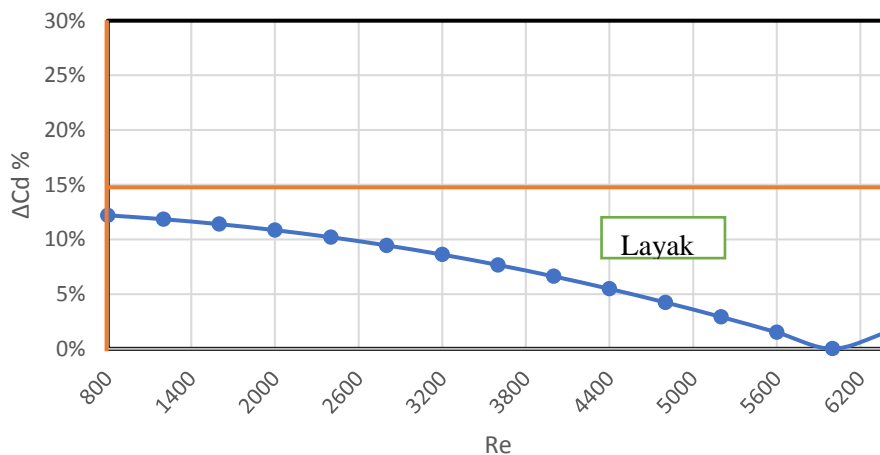
Gambar 4. 7 Grafik ΔC_d terhadap Re pada pada pipa 1 dan $\frac{1}{2}$ inch (5%)

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara ΔC_d terhadap Re dengan standar deviasi 5%. Plat orifice dengan nilai rasio beta 0,16 pada standar deviasi ini dapat digunakan untuk angka Reynolds 4400 hingga 6600. Penyimpangan yang terjadi pada standar deviasi ini sangat kecil yaitu berkisar 0,049.

Gambar 4. 8 Grafik ΔC_d terhadap Re pada pada pipa 1 dan $\frac{1}{2}$ inch (10%)



Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara ΔC_d terhadap Re dengan standar deviasi 10%. Plat orifice dengan nilai rasio beta 0,16 pada standar deviasi ini dapat digunakan untuk angka Reynolds 2600 hingga 6200. Standar deviasi ini jarak kelayakannya lebih luas dibandingkan standar deviasi yang sebelumnya.



Gambar 4. 9 Grafik ΔC_d terhadap Re pada pada pipa 1 dan $\frac{1}{2}$ inch (15%)

Grafik ΔC_d terhadap Re pada pada pipa 1 dan $\frac{1}{2}$ inch dengan standar deviasi sebesar 15% menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai dari ΔC_d awal 12% hingga nilai ΔC_d 0% seiring bertambahnya angka Reynolds. Nilai deviasi tertinggi berada pada bilangan Reynolds 800 dan 1200 yaitu dengan nilai C_d 12% sedangkan nilai deviasi terendah dengan nilai C_d 0% berada pada bilangan Reynolds 6000. Kenaikan bilangan Reynolds akan berpengaruh terhadap nilai C_d yang mengakibatkan nilai deviasi menjadi kecil. Batas kelayakan pada standar deviasi ini yaitu pada bilangan Reynolds 800 sampai 6200 dan diasumsikan bahwa nilai

$Cd_1 = Cd_{1/2}$. Asumsi tersebut dapat digunakan untuk menjawab hipotesa bahwa dengan rasio $\beta = d/D = 0.16$ dapat memprediksi debit aliran fluida air pada pipa dengan diameter yang berbeda seperti pada persamaan 4.1 berikut ini.

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

- Dengan :
- $\dot{V}_{aktual\ 1/2}$ = \dot{V}_{aktual} pada pipa ½ inch (m³/s)
 - $\dot{V}_{ideal\ 1/2}$ = \dot{V}_{ideal} pada pipa ½ inch (m³/s)
 - $Cd_{1/2}$ = *Coefficient of discharge* pada pipa ½ inch (m³/s)
 - $\dot{V}_{aktual\ 1}$ = $\dot{V}_{aktual\ 1}$ pada pipa 1 inch (m³/s)
 - $\dot{V}_{ideal\ 1}$ = \dot{V}_{ideal} pada pipa 1 inch (m³/s)
 - Cd_1 = *Coefficient of discharge* pada pipa 1 inch (m³/s)

Persamaan 4. 1 selanjutnya digunakan untuk menghitung kembali debit prediksi pada pipa 1". Sebagai contoh perhitungan, diambil dari data percobaan pada masing – masing pipa. Berikut ini merupakan contoh perhitungan prediksi debit aktual pada pipa 1":

$$\dot{V}_{aktual\ 1} = Cd_{1/2} \cdot \dot{V}_{ideal\ 2}$$

Dengan :

- $\dot{V}_{aktual\ 1}$ = Debit prediksi pipa 1 inch (LPM)
- $Cd_{1/2}$ = *coefficient of discharge* pipa ½ inch
- $\dot{V}_{ideal\ 1}$ = Debit ideal pipa 1 inch (m³/s)
- $\dot{V}_{aktual\ 1} = Cd_{1/2} \cdot \dot{V}_{ideal\ 2}$
- $\dot{V}_{aktual\ 1} = 0,988 \cdot 0,00001923\ m^3/s$
- $\dot{V}_{aktual\ 1} = 1,9 \times 10^{-5}\ m^3/s$
- $\dot{V}_{aktual\ 1} = 1,14\ LPM$

Perhitungan debit prediksi diatas memiliki perbedaan dengan debit *orifice* hasil perhitungan. Data dari percobaan kedua pada pipa 1 in menghasilkan debit *orifice* sebesar 1,01 LPM, sedangkan perhitungan debit prediksi sebesar 1, 14 LPM.

Selisih kedua debit sebesar 0,12 LPM. Setelah dilakukan perhitungan debit prediksi pada pipa 1” kemudian diolah menjadi tabel yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 9 Pembuktian hipotesa.

No	\dot{V} prediksi pipa 1”	\dot{V} orifice 1” (LPM)	Cd ½ ”	$\Delta\dot{V}$	
				LPM	%
1	1,14069753	1,01859453	0,988	0,122103	12%
2	1,53462336	1,38737090	0,969	0,147252	11%
3	2,06498342	1,88104421	0,952	0,183939	10%
4	2,69489202	2,47464855	0,934	0,220243	9%
5	3,35537109	3,10792194	0,918	0,247449	8%
6	3,79795069	3,54384353	0,907	0,254107	7%
7	4,47686707	4,21128199	0,898	0,265585	6%
8	4,73742308	4,48694224	0,892	0,250481	6%
9	5,11188946	4,86814069	0,885	0,243749	5%

Perbandingan hasil pengujian yang dilakukan oleh Saptutra (2017) dengan rasio $\beta=0,16$ yang diaplikasikan pada pipa bediameter ½ inch dan ¾ inch menghasilkan nilai $\Delta Cd \leq 5\%$ pada bilangan Reynolds ≥ 1300 . Berbeda dengan hasil

pengujian yang dilakukan oleh Masruri (2018) yang menggunakan rasio $\beta=0.19$ pada pipa berdiameter $\frac{1}{2}$ inch dengan 1 inch memperoleh nilai $\Delta C_d \leq 15\%$ dan berada bilangan Reynolds 600 hingga 8600. Dari hasil data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai rasio yang digunakan maka akan semakin kecil Batasan dari bilangan Reynold yang diasumsikan diawal. Sedangkan semakin kecil diameter pipa pembanding maka akan diperoleh standar deviasi yang lebih kecil dengan Batasan bilangan Reynolds yang lebih besar.