

STUDI EKSPERIMENTAL ORIFICE PLATE METER DENGAN KAPASITAS ALIRAN 1,5 SAMPAI 9 LITER PER MENIT PADA PIPA POLYVINYL CHLORIDE (PVC) ½ INCH DAN 1 INCH (RASIO $\beta = d/D = 0,24$)

Bryan Dwi Purwanto^a, Tito Hadji Agung. S^b, Muhammad Nadjib^c

^a Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183
 Telp.: 081807798894
 e-mail: bryan.dwip18@gmail.com

Abstract

The expensive cost of flow meter for higher pipe size is a weakness of advancement of technology. Therefore, the writer uses orifice plate. In this study, the researcher uses orifice plate with a thickness of 3 mm. Orifice plate meter, this tool has more advantage than the other flowmeter, such as the construction is more simple, unexpensive in manufacturing, and easy to install. This research is expected to provide an important role in fluid mechanics and can be applied in the industrial sector with the aim of providing cheaper flow meter options while still producing high precision values.

The researcher uses PVC pipes with diameter of ½ inch and 1 inch. The researcher uses it because both of pipes are easy to find in the market and for the costs, it is relatively cheap. The last the researcher uses Manometer U, it is used to get a high pressure difference value. Moreover, this study aims to determine the orifice debit in ½ inch and 1 inch pipes which have a value of beta (β) = 0,24 ratio and compare with the actual debit. The simmlar beta ratio value is expected to be used to predict debit in 1 inch pipe. Data retrieval method is carried out by varying the readable debit on the rotameter from 1,5 to 9 LPM and recorded in every the rising of 0,5 LPM. The pressure difference data that has been obtained is used to get the coefficient of discharge and orifice debit values.

The difference between the coefficient of discharge values in the ½ inch and 1 inch pipes is the highest and the lowest is 0,11 and 0,047 respectively which, if given a value of 13 % and 6 % respectively. The highest difference occurs in the Reynolds number of 1720, while the lowest difference occurs at Reynolds number 6220 to 8720. By using the assumption of $\Delta C_d \leq 10 \%$, the value of $C_{d,1/2}$ is considered the same as the $C_{d,1}$ value which means that the orifice plate is 0,24 beta ratio in the ½ inch pipe can be used to predict on a 1 inch pipe in the range of Reynolds number 3220 to 9220.

Keywords: pressure difference, coefficient of discharge, orifice volume flowrate, flowmeter, orifice plate meter, beta ratio

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi mendapat respon positif dari berbagai bidang, khususnya di bidang perindustrian. Salah satu perangkat teknologi yang telah berkembang yaitu alat instrumentasi. Alat instrumentasi adalah alat yang digunakan untuk pengukuran dan pengontrolan. Pengukuran dan pengontrolan dimulai dari laju kecepatan aliran, massa, dan tekanan. Alat ukur yang semakin canggih tentu memiliki kelemahan dan kelebihan, seperti memiliki akurasi yang tinggi dan mudah dalam pembacaan. Sementara itu, kelemahannya seperti biaya komersial yang menjadi mahal.

Alat ukur pada sektor industri migas dan pembangkit listrik memiliki fungsi sebagai alat kontrol laju aliran fluida yang melewati suatu sistem perpipaan tertutup. Dengan demikian, operator dapat mengetahui nilai debit dan tekanan yang melewati suatu pipa. Pada sistem aliran tertutup terdapat berbagai jenis alat ukur yang menggunakan prinsip beda tekanan dan sering digunakan, yaitu:

1. Orifice plate meter
2. Pitot tube
3. Venturi meter
4. Differential pressure gauge

Orifice plate meter adalah sebuah plat tipis berbentuk lingkaran yang mempunyai lubang dengan diameter tertentu pada bagian tengahnya. *Orifice plate meter* dapat digunakan pada fluida kompresibel dan fluida inkompresibel yang menggunakan konsep beda tekanan. Meskipun sederhana dan sudah ada sejak lama, *orifice plate meter* tetap eksis kegunaannya hingga sekarang. *Orifice plate meter* dipilih karena memiliki konstruksi yang sederhana, murah dalam pembuatan, dan mudah dalam pemasangannya. Akan tetapi, pengukuran menggunakan *orifice plate meter* perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus Bernoulli yang dimodifikasi untuk mendapatkan nilai debitnya (Santosa, 2003).

Kurniawan (2017) pernah melakukan penelitian *orifice plate meter* dengan nilai $\beta = 0,24$ ($\beta = d/D = 0,24$) pada pipa berdiameter $\frac{1}{2}$ inch dan $\frac{3}{4}$ inch. Penelitian tersebut menggunakan alat *differential pressure gauge*. Hasil penelitian Kurniawan (2017) menunjukkan bahwa nilai koefisien *discharge* dari *orifice* dengan nilai β ($d/D = \beta = 0,24$) pada pipa $\frac{1}{2}$ inch dapat digunakan dalam memprediksi laju aliran fluida pada pipa $\frac{3}{4}$ inch dengan nilai β yang sama, tetapi hanya pada jarak angka Reynolds antara 2600 dan 6400.

Hollingshead dkk (2011) melakukan pengujian prestasi kerja koefisien curah (*coefficient of discharge*) pada venturi, plat *orifice* konsentrik, *v-cone*, dan *wedge flow meter* pada angka Reynolds rendah. Pada plat *orifice* diberlakukan nilai rasio β (β) yaitu 0,5; 0,6; 0,65; dan 0,7 serta nilai diameter dalam pipa berkisar antara 15,47 sampai 20,27 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa plat *orifice* meter memiliki *trend* nilai *coefficient of discharge* yang berbeda dari alat ukur yang lainnya. Nilai *coefficient of discharge* plat *orifice* meter dikisaran angka Reynolds 100 sampai 10000 mengalami peningkatan maksimum pada angka Reynolds 300 lalu menurun perlahan hingga angka Reynolds 10000 yang kemudian cenderung konstan.

Saputra (2017) melakukan pengujian *orifice* sebagai alat ukur laju aliran fluida pada pipa PVC ukuran $\frac{1}{2}$ inch dan $\frac{3}{4}$ inch dengan rasio β 0,16. Nilai penyimpangan *coefficient of discharge* tertinggi yaitu pada angka Reynolds 1300 sebesar 4,7 % dan nilai penyimpangan terendah sebesar 0,25 % pada angka Reynolds 3500. Dengan nilai rasio β yang sama, batas layak penggunaan plat *orifice* dengan rasio β 0,16 untuk pipa $\frac{3}{4}$ inch yaitu pada Angka Reynolds ≥ 2500 .

Oleh karena mahalnya harga *flow meter* untuk pipa berdiameter besar, penulis melakukan pengujian dan penelitian debit fluida pada pipa $\frac{1}{2}$ inch dan pipa 1 inch menggunakan *orifice plate meter* dengan rasio β 0,24. Rasio β didapat dari penelitian Kurniawan dkk (2017). Dengan rasio β yang sama, diharapkan penelitian ini dapat membantu untuk memprediksi debit fluida pada pipa dengan ukuran 1 inch. Di sisi lain, penelitian ini juga memiliki peranan penting yang berkaitan dengan ilmu mekanika fluida, apabila hipotesis tersebut cukup relevan dengan dilakukannya uji empiris maka dapat diaplikasikan pada sektor industri untuk mengukur debit dengan harga yang lebih murah namun tetap memiliki kepresisian yang tinggi.

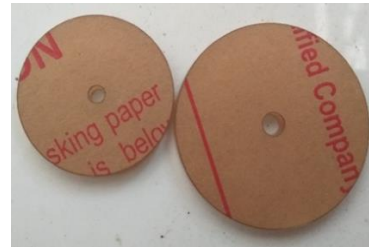
2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

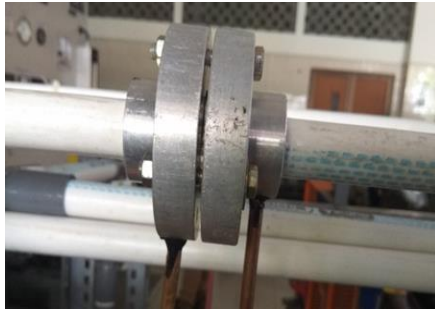
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa fluida *incompressible* yaitu air. Air digunakan sebagai media pengukuran *orifice plate meter*. Air ditampung pada bak dengan volume 50 liter dan bersuhu ± 27 °C. Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen, yaitu plat *orifice*, *flange*, pipa PVC (1), pompa (2), rotameter (3), *gate valve* (4), *ball valve* (5), bak penampung air (6), *flange* (7) dan manometer U (8). Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat *orifice*.



Gambar 1. Alat uji



Gambar 2. Plat orifice

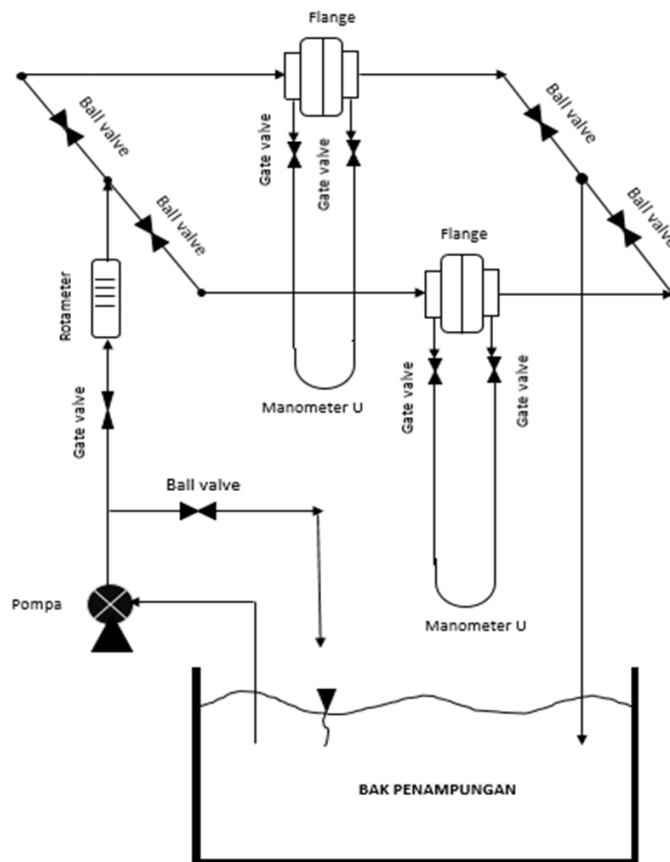


Gambar 3. Flange



Gambar 4. Manometer U

Alat yang digunakan dalam pengujian *orifice plate meter* berupa sebuah instalasi perpipaan tertutup sederhana. Pada penelitian ini digunakan dua buah pipa PVC berukuran $\frac{1}{2}$ inch dan 1 inch yang masing-masing akan dipasang sepasang *flange* yang ditengahnya terdapat plat *orifice*. berikut skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema alat uji

2.2 Tahap Penelitian

Tahap pelaksanaan:

1. Menyiapkan tabel pengamatan.
2. Variabel yang digunakan adalah debit, yaitu 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 ; 4,5 ; 5 ; 5,5 ; 6 ; 6,5 ; 7 ; 7,5 ; 8 ; 8,5 ; 9 LPM.
3. Melakukan persiapan alat seperti, memasang manometer U, memasang plat *orifice*, dan mengisi air ke bak penampungan.
4. Melakukan *Running test* untuk memastikan alat uji tidak mengalami kebocoran.
5. Apabila alat uji mengalami kebocoran maka ulangi lagi ke tahap persiapan alat dan bahan.
6. Membuka *gate valve* untuk mengalirkan air ke plat *orifice*.

Tahap pengambilan data :

1. Menyetel rotameter melalui *gate valve* dengan debit 1,5 LPM sampai aliran dianggap *steady*.
2. Membuka katup pada pipa 1 inch dan katup tekanan untuk manometer U.
3. Mencatat hasil pengukuran yang terbaca pada manometer U.
4. Menyetel rotameter sampai 9 LPM.
5. Ulangi langkah diatas pada setiap kenaikan 0,5 LPM sampai semua variabel terpenuhi.
6. Apabila pengujian plat *orifice* pada pipa 1 inch sudah selesai, lakukan langkah yang sama untuk pipa ½ inch.

Tahap analisis data :

1. Melakukan perhitungan meliputi Q_{aktual} , Q_{ideal} , dan *coefficient of discharge*, ΔC_d .
2. Mengolah dan menganalisis grafik Re terhadap ΔP , Re terhadap koefisien C_d , dan Re terhadap ΔC_d .
3. Membuat grafik perbandingan antara hasil pengujian pipa 1 inch dengan ½ inch.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan *Fully Developed*

Perhitungan aliran *fully developed* pada pipa ½ inch menggunakan angka Reynolds 2100 karena diasumsikan aliran yang terjadi pada aliran laminar.

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

$Re = 2100$

Perhitungan *fully developed* pada pipa ½ inch :

$$\frac{l_1}{D} = 0,06 \cdot Re$$

$$\frac{l_1}{0,0187} = 0,06 \cdot 2100$$

$$l_1 = 0,06 \cdot 2100 \cdot 0,0187 \text{ m}$$

$$l_1 = 2,35 \text{ m}$$

3.2 Hasil Pengambilan Data

Tabel 1. Hasil pengambilan data pada pipa ½ inch

No	Debit (LPM)	ΔZ (cmHg)	ΔP (N/m ²)
1	1.5	1.25	1667.7
2	2	2.04	2721.6864
3	2.5	3.45	4602.852
4	3	5.36	7151.0976

Tabel 2. Hasil pengambilan data pada pipa ½ inch (lanjutan)

No	Debit (LPM)	ΔZ (cmHg)	ΔP (N/m ²)
5	3.5	7.15	9539.244
6	4	9.28	12381.0048
7	4.5	12.13	16183.3608
8	5	15.08	20119.1328
9	5.5	17.65	23547.924
10	6	20.83	27790.5528
11	6.5	24.21	32300.0136
12	7	28.06	37436.5296
13	7.5	32.14	42879.9024
14	8	36.51	48710.1816
15	8.5	41.31	55114.1496
16	9	46.94	62625.4704

Tabel 3. Hasil pengambilan data pada pipa 1 inch

No	Debit (LPM)	ΔZ (cmHg)	ΔP (N/m ²)
1	1.5	0.37	493.6392
2	2	0.59	787.1544
3	2.5	0.83	1107.3528
4	3	1.17	1560.9672
5	3.5	1.75	2334.78
6	4	2.4	3201.984
7	4.5	3	4002.48
8	5	3.68	4909.7088
9	5.5	4.53	6043.7448
10	6	5.19	6924.2904
11	6.5	6.02	8031.6432
12	7	7.01	9352.4616
13	7.5	8.05	10739.988
14	8	9.13	12180.8808
15	8.5	10.37	13835.2392
16	9	11.92	15903.1872
17	9.5	13.34	17797.6944
18	10	14.88	19852.3008
19	10.5	16.39	21866.8824
20	11	18.47	24641.9352

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

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

Diketahui :

- D_1 : 18,7 mm = 0,0187 m
- d_2 : $\beta \cdot D_1 = 0,24 \cdot 0,0187 \text{ m} = 0,004484 \text{ m}$
- μ_{Air} : 0,001 N.s/m²
- ρ_{Air} : 1000 kg/m³
- A_1 : $2,7464 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- A_2 : $1,5819 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
- ΔP : 1667,7 N/m²

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:

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

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

$$v = 0,09104 \text{ m/s}$$

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

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_1}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,09104 \text{ m/s} \cdot 0,0187 \text{ m})}{0,001 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2}$$

$$Re = 1702,532$$

Perhitungan selanjutnya yaitu mencari nilai Q_{ideal} :

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

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

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

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

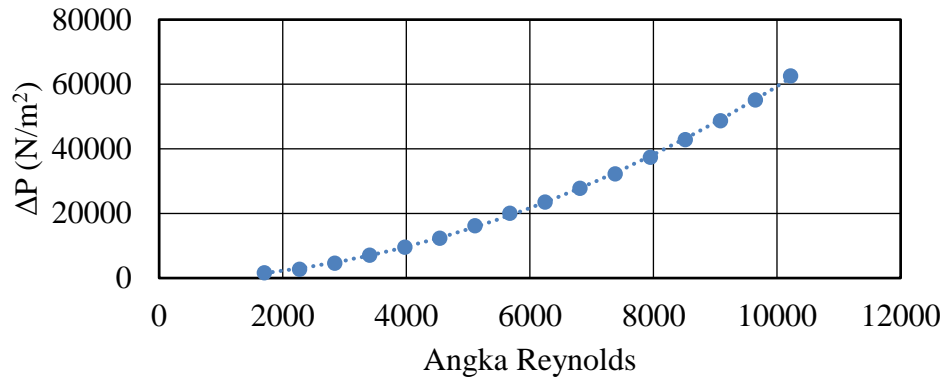
$$Cd = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{ideal}}}$$

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

$$Cd = 0,8640$$

3.4 Coefficient of Discharge (Cd) dan Bilangan Reynolds pada Pipa ½ inch

Hasil perhitungan angka Reynolds dan *coefficient of discharge* kemudian diolah pada Microsoft Excel dan dimuat dalam bentuk grafik pada Gambar 6 dan 7.

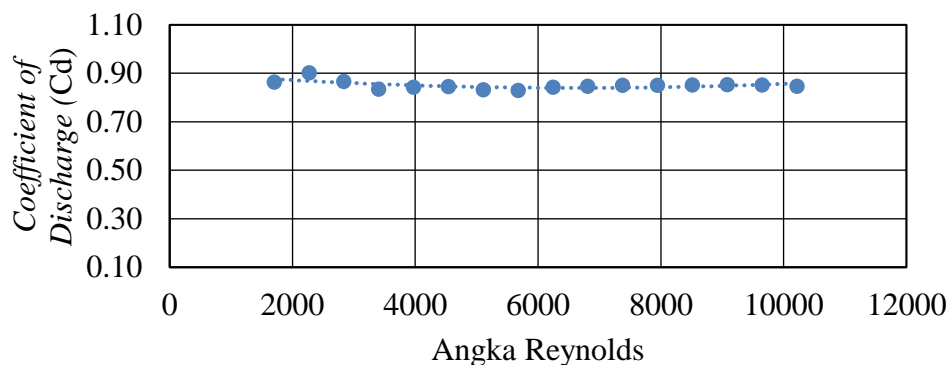


Gambar 6. Hubungan antara Re dan ΔP pada pipa ½ inch

Keterangan:

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

Grafik pada Gambar 6 adalah hubungan antara angka Reynolds dan perubahan tekanan rata-rata pada pipa ½ inch. Grafik pada Gambar 6 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 6 berlaku pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 10300.



Gambar 7. Hubungan antara Re dan Cd pada pipa ½ inch

Keterangan :

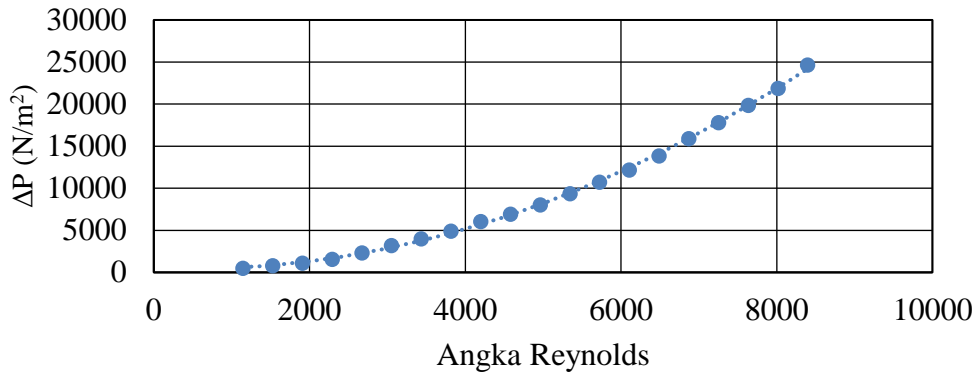
$$Cd = 1 \times 10^{-9} Re^2 - 2 \times 10^{-5} Re + 0,9057$$

Gambar 7 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 7 berlaku pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 10300.

3.5 Coefficient of Discharge (Cd), dan Bilangan Reynolds pada Pipa 1 Inch

Hasil perhitungan angka Reynolds dan *coefficient of discharge* untuk pipa 1 inch dimuat pada grafik seperti pada Gambar 8 dan 9.

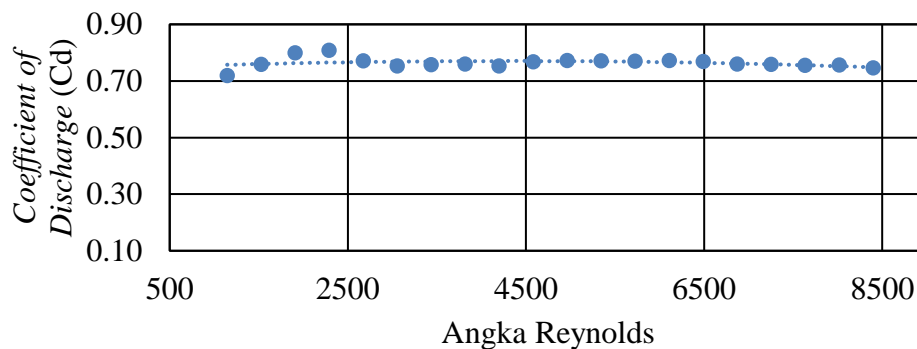


Gambar 8. Hubungan antara Re dan ΔP pada pipa 1 inch

Keterangan:

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

Grafik pada Gambar 8 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 8 berlaku pada kisaran angka Reynolds 1100 sampai 8400.



Gambar 9. 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 9 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 9 berlaku pada kisaran angka Reynolds 1100 sampai 8400.

3.6 Perhitungan Debit Orifice ($Q_{orifice}$) Pada Pipa PVC 1/2 inch

Perhitungan debit orifice menggunakan rumus regresi yang didapat dari grafik hubungan antara Re dan ΔP dan grafik hubungan antara Re dan Cd.

Berikut ini adalah contoh perhitungan debit orifice dengan data variasi Q_{air} 1,5 LPM:

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

Perhitungan nilai Re dihitung menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap $\Delta P_{rata-rata}$ pada pipa 1/2 inch:

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

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

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

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

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

$$Re = 1982,15$$

Setelah nilai Re diketahui, selanjutnya menghitung nilai Cd menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap Cd pada pipa 1/2 inch:

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

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

$$Cd = 0,8414$$

Setelah mengetahui nilai *coefficient of discharge* (Cd) maka selanjutnya menentukan debit orifice ($Q_{orifice}$):

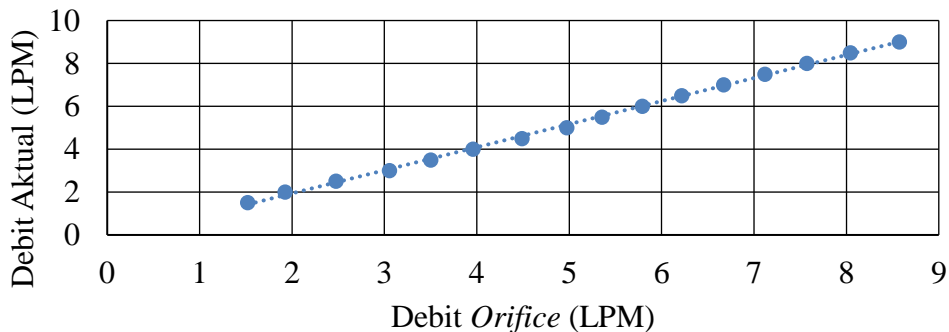
$$Q_{orifice} = Cd \cdot Q_{ideal}$$

$$Q_{orifice} = 0,8414 \cdot 2,894 \times 10^{-5}$$

$$Q_{orifice} = 2,4352 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

3.7 Perbandingan Debit Orifice ($Q_{orifice}$) dengan Debit aktual pada Pipa 1/2 inch

Hasil perhitungan debit orifice pada pipa 1/2 inch juga akan dimuat dalam bentuk grafik untuk dibandingkan dengan nilai debit aktual seperti pada Gambar 10.

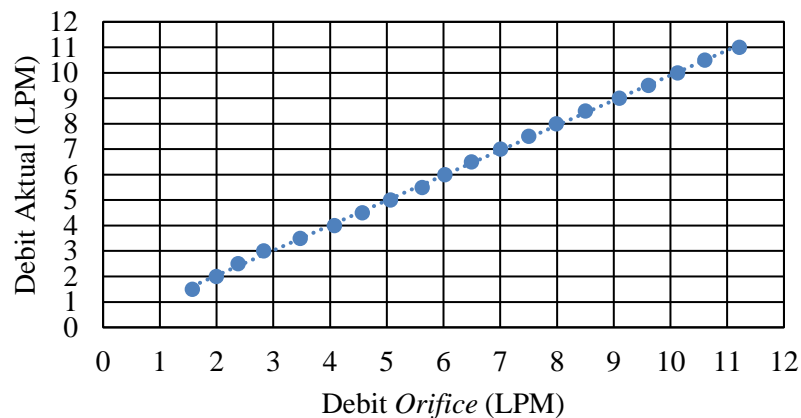


Gambar 10. Perbandingan antara debit aktual dan debit orifice pipa 1/2 inch

Grafik pada Gambar 10 menunjukkan bagaimana perbandingan debit aktual dengan debit *orifice* hasil perhitungan. Tampak dari Gambar 10, 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 %.

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

Hasil perhitungan debit *orifice* pada pipa 1/2 inch juga akan dimuat dalam bentuk grafik untuk dibandingkan dengan nilai debit aktual seperti pada Gambar 11.

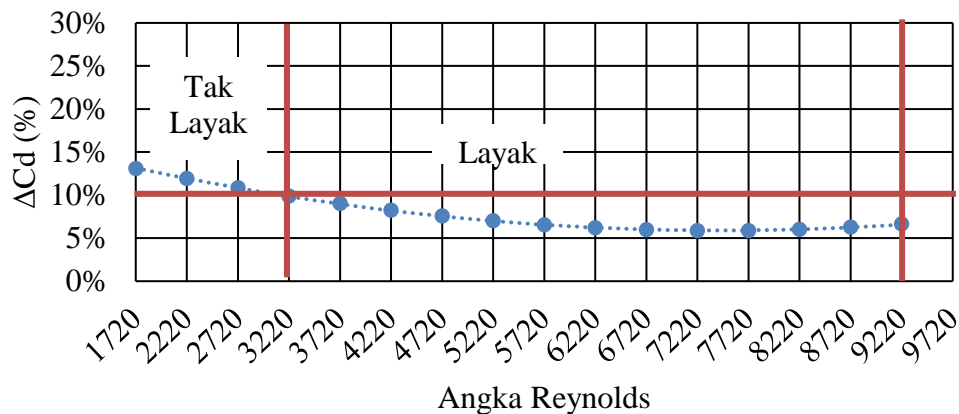


Gambar 11. Perbandingan antara debit aktual dan debit *orifice* pipa 1 inch

Gambar 11 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 %.

3.9 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 seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Hubungan ΔCd terhadap Re pada pada pipa 1 dan ½ inch

Grafik ΔCd terhadap Re pada Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai ΔCd 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 ΔCd ≤ 10%, nilai Cd pada pipa ½ inch sama dengan nilai Cd pada pipa 1 inch (Cd_{1/2} = Cd₁). 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 ½ 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 1.

$$\frac{Q_{\text{aktual } 1}}{Q_{\text{ideal } 1}} = Cd_1 = Cd_{1/2} = \frac{Q_{\text{aktual } 1/2}}{Q_{\text{ideal } 1/2}} \dots\dots\dots (1)$$

- Dengan : Q_{aktual 1} = Debit aktual pada pipa 1 inch (m³/s)
- Q_{ideal 1} = Debit ideal pada pipa 1 inch (m³/s)
- Cd₁ = *Coefficient of discharge* pada pipa 1 inch (m³/s)
- Q_{aktual ½} = Q_{aktual 2} pada pipa ½ inch (m³/s)
- Q_{ideal ½} = Q_{ideal} pada pipa ½ inch (m³/s)
- Cd_{1/2} = *Coefficient of discharge* pada pipa ½ inch (m³/s)

Persamaan 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:

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

- Dengan:
- Q_{aktual 1} = Debit prediksi pipa 1 inch (LPM)
- Cd_{1/2} = *Coefficient of discharge* pipa ½ inch
- Q_{ideal 1} = Debit ideal pipa 1 inch (m³/s)

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

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

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

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

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

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.

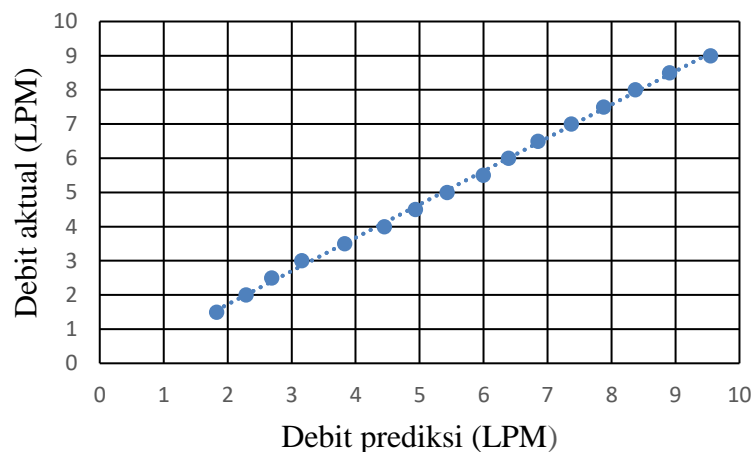
Tabel 4. Perbandingan hasil debit prediksi dengan debit aktual pada pipa 1 inch

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:

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

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan debit prediksi pada pipa 1 inch yang kemudian akan dimuat dalam bentuk grafik pada Gambar 13.



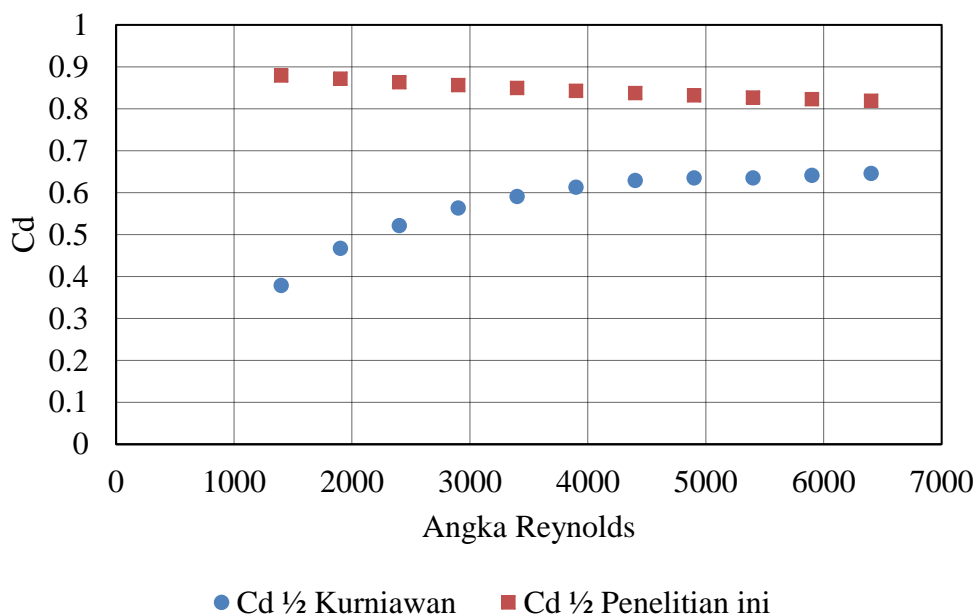
Gambar 13. Hubungan antara debit prediksi dan debit aktual

Tabel 4 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 dimuat ke dalam grafik seperti pada Gambar 13, 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.

3.10 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 1/2 dan 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 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 Gambar 14.



Gambar 14. Hubungan antara Cd saat ini dan Cd Kurniawan (2017) pada pipa 1/2 inch

Gambar 14 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.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dan perhitungan pada studi eksperimental *orifice plate meter* pada pipa pvc ½ inch dan 1 inch dengan rasio beta 0,24 dapat disimpulkan bahwa:

1. Debit yang terbaca pada rotameter di pipa ½ inch mampu mencapai 9 LPM, sedangkan debit *orifice* hanya mampu mencapai 8,57 LPM, sedangkan pada pipa 1 inch debit yang terbaca pada rotameter mampu mencapai 11 LPM, sedangkan debit *orifice* mencapai 11,21 LPM. Penyimpangan debit tertinggi pada pipa ½ inch terjadi pada percobaan 15 dengan nilai debit yang terbaca pada rotameter sebesar 8,5 LPM, sedangkan debit *orifice* sebesar 8,04 yang menimbulkan selisih debit sebesar 0,46 LPM yang jika dipersenkan setara dengan nilai 5%. Di sisi lain, Penyimpangan debit tertinggi pada pipa 1 inch terjadi pada percobaan 4 dengan nilai debit yang terbaca pada rotameter sebesar 3 LPM, sedangkan debit *orifice* sebesar 2,83 LPM. Hal ini menyebabkan selisih debit sebesar 0,17 LPM yang jika dipersenkan akan setara dengan nilai 6%.
2. Nilai *coefficient of discharge* pada pipa ½ inch mengalami fluktuasi pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 6200 lalu pada kisaran angka Reynolds 6200 sampai 10200 cenderung stabil namun mengalami penurunan. Nilai *coefficient of discharge* tertinggi sebesar 0,9, sedangkan nilai terendah sebesar 0,83. Nilai *coefficient of discharge* pada pipa 1 inch juga mengalami fluktuasi pada kisaran angka Reynolds 1100 sampai 3100 lalu pada kisaran 3400 sampai 8400 cenderung stabil namun mengalami penurunan. Nilai *coefficient of discharge* tertinggi dan terendah yaitu 0,81 dan 0,72.
3. Selisih nilai *coefficient of discharge* antara pipa ½ inch dan 1 inch tertinggi yaitu sebesar 0,11 yang jika dipersenkan setara dengan 13 %, sedangkan selisih terkecilnya sebesar 0,047 yang jika dipersenkan senilai dengan 6 %. Selisih tertinggi terjadi pada angka Reynolds 1720, sedangkan selisih terendah terjadi pada angka Reynolds 6220 sampai 9220. Dengan menggunakan asumsi $\Delta C_d \leq 10 \%$, nilai $C_{d1/2}$ dianggap sama dengan nilai C_{d1} yang berarti bahwa plat *orifice* rasio beta 0,24 pada pipa ½ inch dapat digunakan untuk memprediksi pada pipa berukuran 1 inch pada kisaran angka Reynolds 3220 sampai 9220.

5. SARAN

Pengujian ini masih memerlukan studi eksperimen lebih lanjut guna gara penelitian ini memiliki ketelitian yang lebih presisi. Berikut saran yang dapat dipertimbangkan, diantaranya:

1. Menggunakan alat ukur *differential pressure gauge* untuk pembacaan selisih tekanan antara sisi *upstream* dan *downstream*. Selain itu, penelitian berikutnya dapat menggunakan metode *vena contracta tap* untuk posisi peletakan sisi *upstream* dan *downstream* alat ukur yang digunakan. Ketika proses perbaikan alat juga disarankan agar ditambahkan alat ukur elevasi untuk memastikan bahwa sisi *upstream* dan *downstream* benar-benar sejajar.
2. Menggunakan rumus *fully developed* untuk peletakan *flange* pada pipa 1 inch serta mempertimbangkan untuk menggunakan pompa dengan kapasitas yang lebih besar untuk mengetahui karakter *coefficient of discharge* lebih lanjut dengan angka Reynolds yang semakin tinggi. Selain itu, penelitian berikutnya juga diharapkan dapat menggunakan pipa transparan untuk memastikan bahwa aliran yang melewati plat *orifice* adalah aliran laminar.

DAFTAR PUSTAKA

- C. L, Hollingshead., Johnson, M. C., Barfuss, S. L., Spall, R. E. 2011. *Discharge Coefficient Performance of Venturi, Standard Concentric Orifice Plate, V-Cone and Wedge Flow Meters at Low Reynolds Numbers*. Journal of Petroleum Science and Engineering 78 (2011) 559–566. Elsevier.

- Kurniawan, D. Pengujian *Orifice Plate Meter* sebagai Alat Ukur Debit Air dengan Kapasitas 7 LPM pada Pipa $\frac{1}{2}$ Inch dan $\frac{3}{4}$ Inch (Rasio $\beta = d/D = 0,24$). Skripsi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta; 2017.
- Santoso, T. H. A. Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Refrigerant Petrozon Rossy 12 di dalam Saluran Halus Horizontal. Tesis. Yogyakarta: Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta; 2003.
- Saputra, A. 2017. Pengujian *Orifice Plate Meter* sebagai Alat Ukur Debit Air dengan Kapasitas 6 LPM pada Pipa $\frac{1}{2}$ Inch dan $\frac{3}{4}$ Inch (Rasio $\beta = d/D = 0,16$). Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.