

STUDI EKSPERIMENTAL ORIFICE PLATE METER DENGAN KAPASITAS ALIRAN 1 - 10,5 LPM PADA PIPA PVC ½ INCH DAN 1 INCH DENGAN RASIO BETA (β) = $d/D = 0,19$

Muhamad Marwan Masruri

^a Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183
Telp.: 085743958128
e-mail: marwan.masruri@gmail.com

Abstract

Orifice plate meter has advantages over other flowmeters that are relatively cheap component prices, simple construction, and can be used for large pipe size. Orifice plate meter is a flowmeter that uses the principle of differential pressure. The selection of PVC pipe with 1 and ½ inch size in this research because it was easy to get in the market, and the use of U-tube Manometer aimed to get pressure data which more precision. The purpose of this research was to know the capacity or the flow rate of the orifice with beta ratio $\beta = 0,19$ in 1 and ½ inch pipe, also comparing it with actual flowrate. The use of similar beta ratio was expected that orifice plate meter can be used to predict the flowrate at 1 inch PVC pipe.

The pressure gauge used in this research was U-tube Manometer which has a high value precision. The orifice plate used was 3 mm acrylic. The varied parameter was the actual flowrate shown on rotameter. The differential pressure was measured every 1 – 10,5 LPM with an increase of 0,5 LPM. Data of differential pressure who obtained then calculated to get the coefficient of discharge value and flowrate of the orifice.

The orifice flowrate of the calculation result has a value that almost equal with actual flowrate shown on rotameter. The highest difference of flowrate on 1 inch pipe occurred in the 3rd and 11th experiments at 4 %, while the highest difference of flowrate on ½ inch pipe occurred in the first and second experiments at 3 %. The Coefficient of discharge value on both pipe that has been calculated then processed to compare the percentage of deviation value that occurred. The highest deviation occurred at Reynolds numbers 4200 of 12 %. Assuming $\Delta Cd \leq 15\%$, therefore $Cd 1"$ was considered to be equal to $Cd ½"$, then the orifice plate with the same beta ratio can be used to predict the flowrate at 1 inch PVC pipe.

Keywords: Orifice plate meter, differential pressure, flowmeter, coefficient of discharge, orifice flowrate

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada abad 20-an ini berkembang sangat pesat, khususnya dalam dunia perindustrian, sebagai contoh misalnya teknologi yang berkaitan dengan pengukuran laju aliran fluida. Dalam dunia industri, ada berbagai jenis fluida yang digunakan untuk menunjang kebutuhan proses produksi, baik itu compressible fluid atau incompressible fluid. Karena besarnya peran fluida dalam dunia industri tersebut, maka laju aliran fluida sangat penting untuk diketahui, agar proses produksi berjalan lancar tanpa kendala.

Pengukuran laju aliran fluida memiliki beberapa metode, misalnya metode dengan menggunakan prinsip differential pressure (perbedaan tekanan). Dengan menggunakan persamaan Bernoulli yang dimodifikasi dan diketahui berapa besarnya perbedaan tekanan dalam aliran tersebut maka laju aliran fluida dapat diketahui (Santoso, 2003). Dari beberapa flow meter yang menggunakan prinsip beda tekanan, orifice plate meter merupakan alat ukur yang sering digunakan dalam dunia perindustrian yang memanfaatkan pipa sebagai media penyalur fluida. Orifice plate meter merupakan alat ukur laju aliran fluida di dalam saluran tertutup yang memakai metode rintangan aliran (obstruction device). Pemilihan orifice plate meter sebagai alat ukur laju aliran fluida didalam dunia perindustrian bukan tanpa alasan, orifice plate meter memiliki beberapa

keunggulan dari flow meter lainnya ataupun rotameter yaitu, konstruksi sederhana, murah, perawatan mudah, dan instalasi tidak rumit. Keunggulan Orifice plate meter lainnya yaitu dapat digunakan untuk *compressible fluid* ataupun *incompressible fluid*, serta mampu digunakan untuk ukuran pipa yang besar.

Rosadi (2018) pernah melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan rasio beta 0,19 pada orifice plate meter terhadap koefisien discharge. Penelitian tersebut menggunakan alat ukur tekanan berupa differential pressure gauge dan lubang tekanan (pressure taps) dengan jenis yang tidak diketahui. Hasil penelitian Rosadi (2018) ini pada bilangan Reynolds rendah nilai deviasi koefisien discharge mencapai 28 %. Nilai deviasi yang terlalu tinggi tersebut mengakibatkan plat orifice dengan rasio beta 0,19 tidak layak untuk mengukur laju aliran fluida.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki kapasitas/debit orifice dengan rasio beta 0,19 pada pipa PVC ½” dan 1” serta perbandingan dengan debit aktual, dan juga membuktikan secara ilmiah dari hipotesis bahwa apabila sebuah plat orifice yang memiliki rasio beta sama, maka dapat digunakan untuk memprediksi debit air pada pipa dengan diameter yg berbeda (dalam penelitian ini pipa PVC 1 inch).

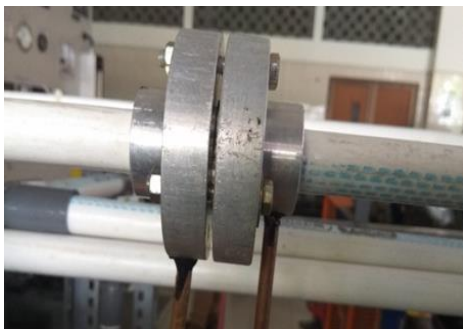
2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah fluida cair yaitu air. Air digunakan untuk media pengukuran yang melewati plat orifice. Air ditampung di bak penampungan dengan volume 50 liter dan suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$. Alat yang digunakan untuk pengujian orifice plate memiliki beberapa komponen utama. Komponen utama pada alat ini antara lain pipa PVC (1), flange (2), gate valve (3), ball valve (4), rotameter (5), manometer U (6), pompa (7), bak penampungan air (8). Spesimen yang digunakan dalam pengujian ini adalah plat orifice.



Gambar 1. Alat uji orifice plate meter

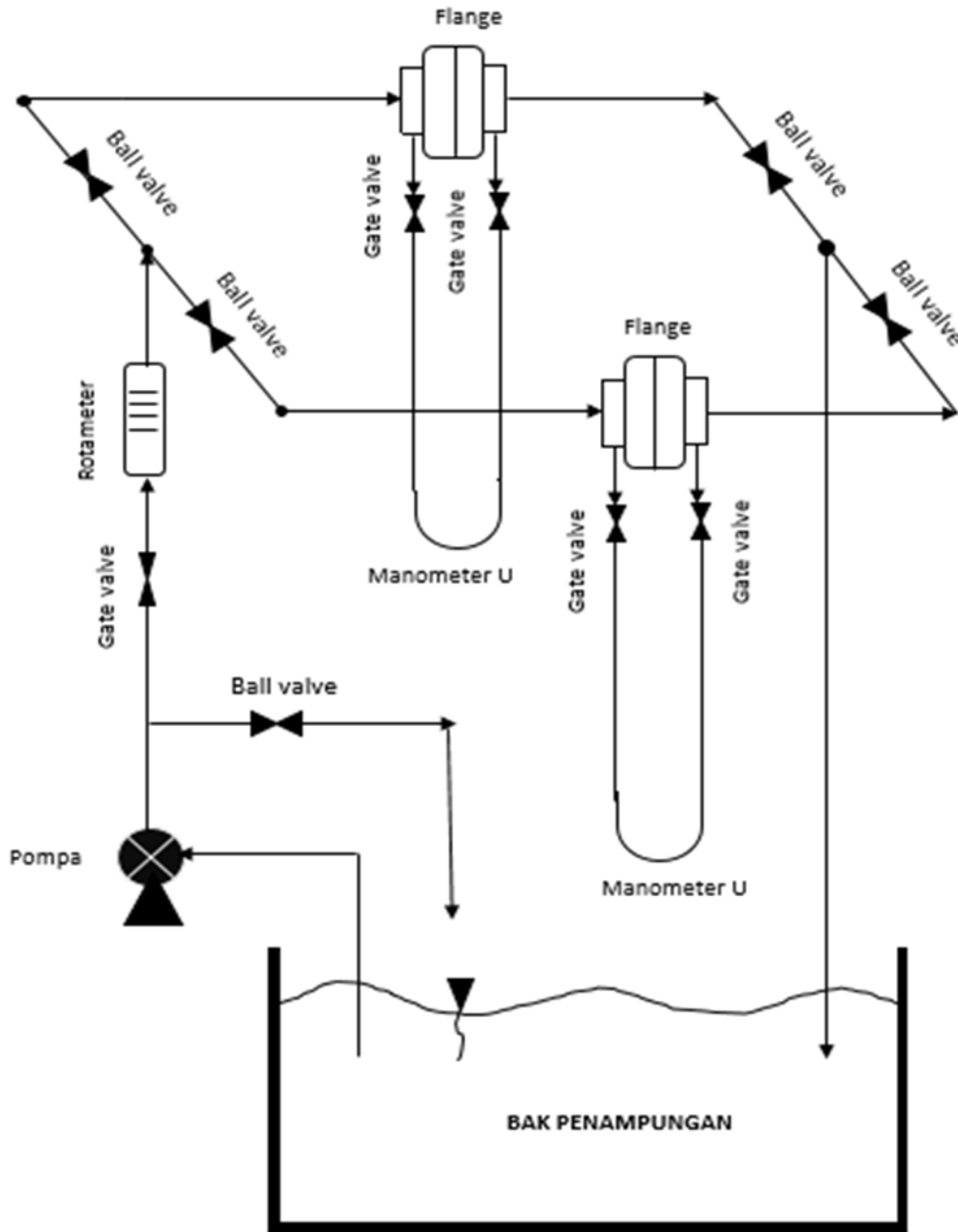


Gambar 2. Flange orifice



Gambar 3. Orifice Plate

Alat yang digunakan dalam pengujian plat orifice merupakan instalasi perpipaan sederhana dari berbagai macam komponen. Alat ini memiliki dua macam pipa yang nantinya akan dipasang flange yang didalamnya terdapat spesimen uji berupa plat orifice. Gambar dibawah ini merupakan skema alat uji pengujian plat orifice.



Gambar 4. Skema alat uji *orifice plate meter*

2.2 Tahap Penelitian

Tahap pelaksanaan :

1. Menyiapkan tabel pengamatan
2. Variabel yang digunakan adalah debit yaitu, 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10 dan 10,5 LPM.
3. Melakukan persiapan alat seperti, memasang plat *orifice*, dan mengisi air ke bak penampungan.
4. *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. Buka *gate valve* untuk mengalirkan air ke plat *orifice*.

Tahap pengambilan data :

1. Menyetel rotameter melalui *gate valve* dengan debit 1 LPM sampai aliran dianggap *steady*.
2. Buka katup pada pipa 1 inch dan katup tekanan untuk manometer U.
3. Mencatat hasil pengukuran yang terbaca pada manometer U.
4. Menyetel rotameter sampai 10,5 LPM.
5. Ulangi langkah diatas sampai semua variabel terpenuhi.
6. Apabila pengujian *orifice plate* pada pipa 1 inch sudah selesai maka lakukan langkah yang sama untuk pipa ½ inch.

Tahap analisis data :

1. Melakukan perhitungan meliputi \dot{V}_{aktual} , \dot{V}_{ideal} , dan *coefficient of discharge*, ΔCd .
2. Mengolah dan menganalisis grafik Re terhadap ΔP , Re terhadap koefisien Cd , dan Re terhadap ΔCd .
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 bilangan reynold 2100 karena diasumsikan aliran yang terjadi pada aliran laminer.

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

$Re = 2100$

Perhitungan *fully developed* pada pipa ½ inch :

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

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

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

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

3.2 Hasil Pengambilan Data

Tabel 1. Data Hasil Pengujian pada Pipa 1 inch

No	Debit (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)
1	1	346,8816
2	1,5	840,5208
3	2	1400,868
4	2,5	2494,8792
5	3	3842,3808
6	3,5	5283,2736
7	4	7097,7312
8	4,5	9152,3376
9	5	11367,0432

No	Debit (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)
10	5,5	13248,2088
11	6	15582,9888
12	6,5	19091,8296
13	7	21546,684
14	7,5	24401,7864
15	8	27910,6272
16	8,5	32233,3056
17	9	36502,6176
18	9,5	40478,4144
19	10	45281,3904
20	10,5	50497,956

Tabel 2. Data Hasil Percobaan pada Pipa ½ inch

No	Debit (LPM)	ΔP rata-rata (N/m ²)
1	1	2001,24
2	1,5	5430,0312
3	2	9592,6104
4	2,5	16183,3608
5	3	24588,5688
6	3,5	33434,0496
7	4	44600,9688
8	4,5	57368,88
9	5	72031,2984
10	5,5	84038,7384

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

Perhitungan di bawah ini merupakan contoh perhitungan koefisien *discharge* dengan data dari Tabel 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/m²
- ρ_{Air} : 1000 kg/m³
- A_1 : 6,0698 x 10⁻⁴ m²
- A_2 : 2,191 x 10⁻⁵ m²
- ΔP : 346,8816 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 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 :

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

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

$$Re = 763,495$$

Perhitungan selanjutnya yaitu mencari nilai \dot{V}_{ideal} .

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

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

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

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

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

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

$$C_d = 0,913$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Re = 600,903$$

Setelah nilai Re diketahui, selanjutnya menghitung nilai C_d menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap C_d pada pipa 1 inch.

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

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

$$C_d = 0,903$$

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

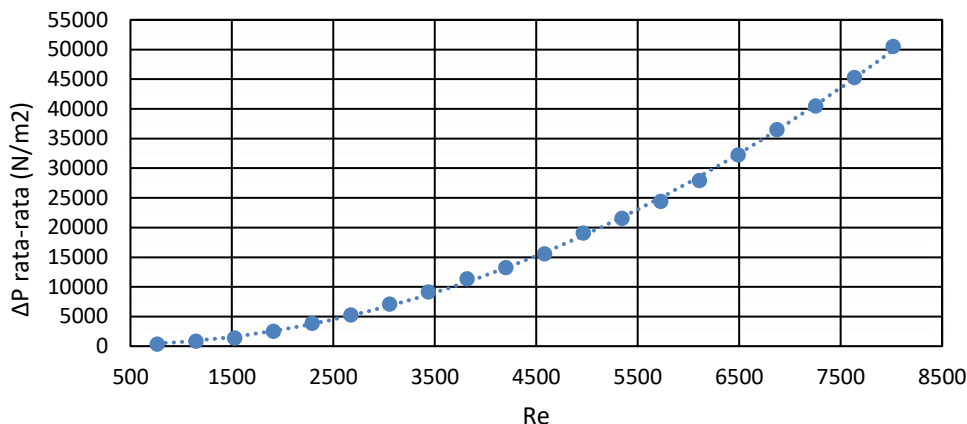
$$\dot{V}_{orifice} = C_d \cdot \dot{V}_{ideal}$$

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

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

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

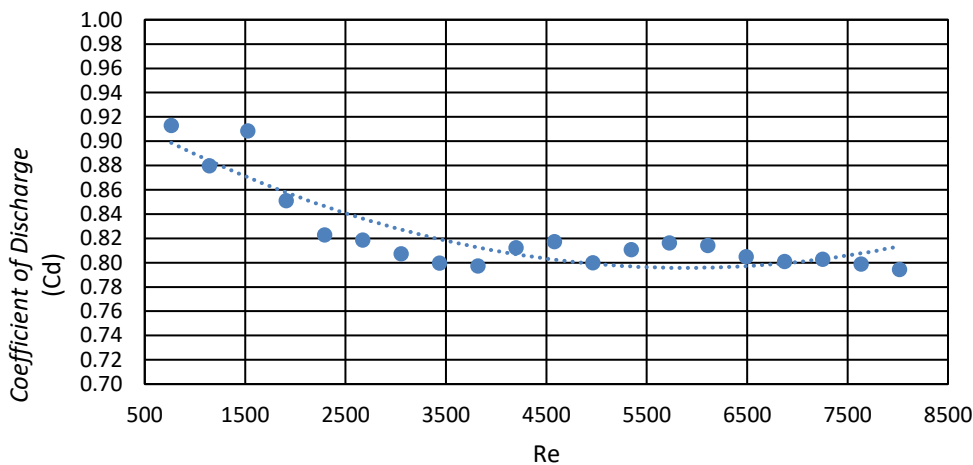
Hasil perhitungan berupa nilai koefisien discharge dan bilangan Reynolds pada pipa 1 inch kemudian dimasukkan kedalam tabel yang dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 5. Hubungan Re dengan ΔP pada pipa 1 inch

Keterangan :

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



Gambar 6. Hubungan Re dengan coefficient of discharge (Cd) pada pipa 1 inch

Keterangan :

$$Cd = 4 \times 10^{-9} \times Re^2 - 5E - 05Re + 0,9317$$

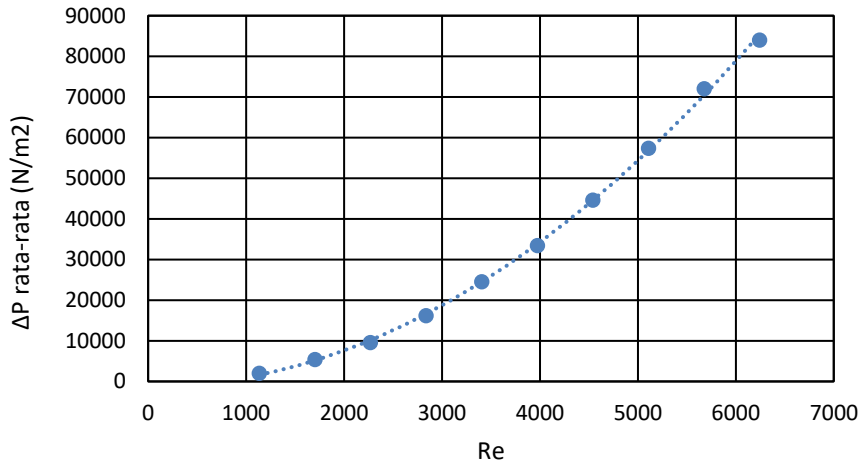
Grafik pada Gambar 5 menunjukkan hubungan antara ΔP dengan bilangan reynold. Dapat diketahui dari grafik tersebut bahwa perubahan tekanan naik seiring dengan naiknya debit aktual yang terbaca di rotameter. Perubahan tekanan tersebut juga mempengaruhi bilangan Reynolds, semakin besar nilai perubahan tekanan (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 6 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.

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

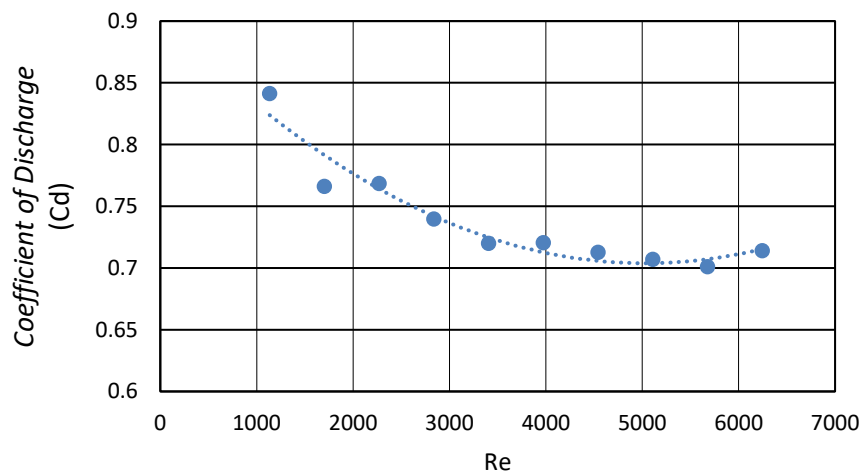
Hasil perhitungan koefisien *discharge* dan bilangan reynold pada pipa ½ inch kemudian diolah menggunakan software Microsoft Excel. Tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Hubungan Re dengan ΔP pada pipa ½ inch

Keterangan :

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



Gambar 8. Hubungan Re dengan Cd pada Pipa ½ Inch

Keterangan :

$$Cd = 8 \times 10^{-9} \times Re^2 - 8E - 05Re + 0,9039$$

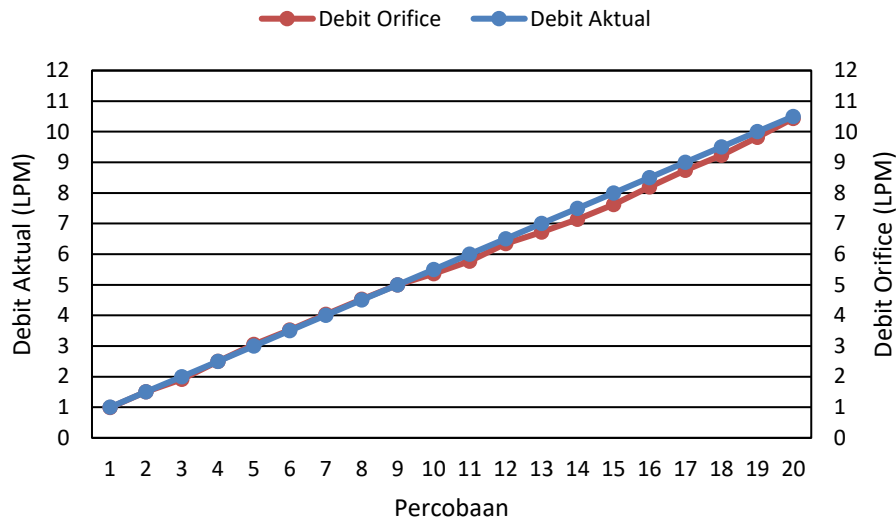
Grafik pada Gambar 7 menunjukkan hubungan bilangan Reynolds dengan perubahan tekanan rata-rata. Grafik tersebut dapat menunjukkan bahwa perubahan tekanan mengalami kenaikan seiring dengan bertambah besarnya bilangan Reynolds, dengan kata lain nilai perubahan tekanan berbanding lurus dengan nilai bilangan Reynolds.

Gambar 8 merupakan grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan nilai koefisien *discharge* (Cd). Pada grafik tersebut dapat menunjukkan bahwa nilai Cd pada bilangan Reynolds terendah nilainya ± 0,85. Setelah bilangan Reynolds naik menjadi ± 3200 nilai Cd mengalami penurunan, kemudian stabil sampai bilangan Reynolds 6300

walaupun mengalami sedikit fluktuasi. Fluktuasi nilai Cd ini disebabkan oleh data perubahan tekanan pada saat pengambilan data kenaikannya tidak teratur.

3.7 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*. Grafik perbandingan debit *orifice* dengan dengan debit aktual rotameter dapat dilihat pada Gambar 9.

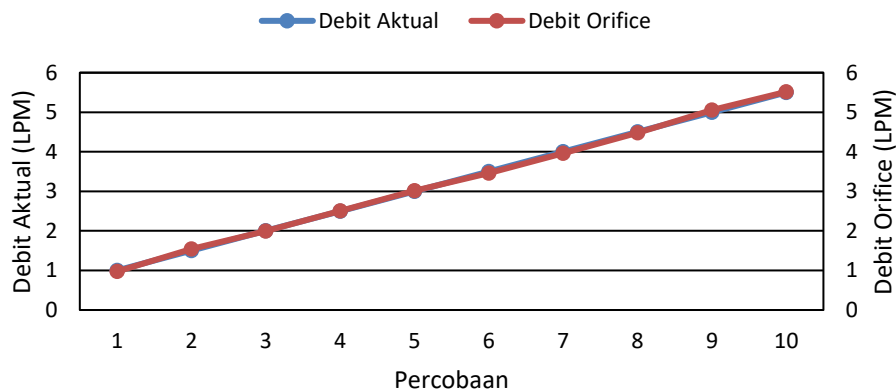


Gambar 9. Perbandingan debit aktual dengan debit hasil perhitungan pada pipa 1 in

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 diatas 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.

3.8 Perbandingan Debit Orifice ($\dot{V}_{orifice}$) dengan Debit aktual pada Pipa ½ 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.

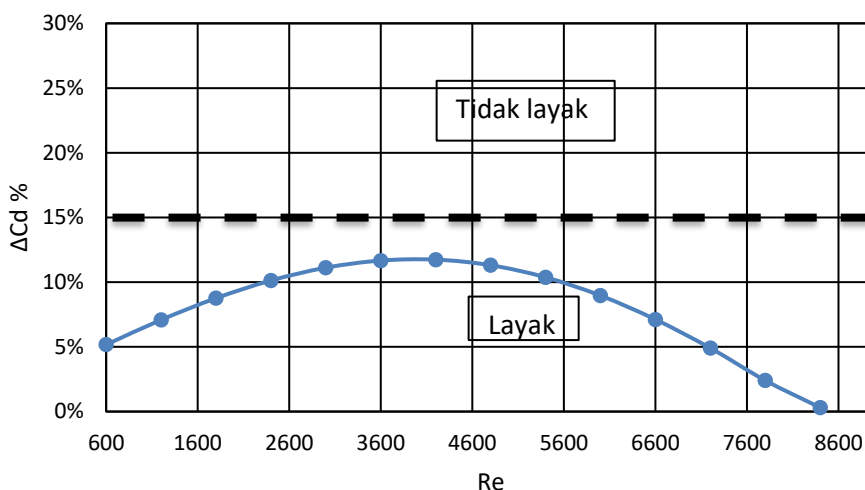


Gambar 10. Perbandingan debit aktual dengan debit hasil perbandingan pada pipa ½ inch.

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.

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

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.



Gambar 11. Hubungan ΔCd (%) terhadap Re pada pipa 1 dan ½ inch

Grafik ΔCd (%) terhadap Re di atas menunjukkan bahwa nilai ΔCd 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 ΔCd ≤ 15% pada bilangan Reynolds 600 - 8600, maka diasumsikan nilai Cd pada pipa ½ inch sama dengan nilai Cd pada pipa 1 inch ($Cd_1 = Cd_2$). 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 di bawah ini :

$$\frac{\dot{V}_{aktual 2}}{\dot{V}_{ideal 2}} = Cd_2 = Cd_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_{ideal 1}} \dots\dots\dots(1)$$

- Dengan : $\dot{V}_{aktual 1}$ = $\dot{V}_{aktual 1}$ pada pipa ½ inch (m³/s)
- $\dot{V}_{ideal 1}$ = $\dot{V}_{ideal 1}$ pada pipa ½ inch (m³/s)
- Cd_1 = Coefficient of discharge pada pipa ½ inch (m³/s)
- $\dot{V}_{aktual 2}$ = $\dot{V}_{aktual 2}$ pada pipa 1 inch (m³/s)
- $\dot{V}_{ideal 2}$ = $\dot{V}_{ideal 2}$ pada pipa 1 inch (m³/s)
- Cd_2 = Coefficient of discharge pada pipa 1 inch (m³/s)

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 :

$$\begin{aligned} \dot{V}_{aktual 2} &= Cd_1 \cdot \dot{V}_{ideal 2} \\ \dot{V}_{aktual 2} &= 0,788 \cdot 0,00002843 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{V}_{aktual 2} &= 2,243 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

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

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 3.

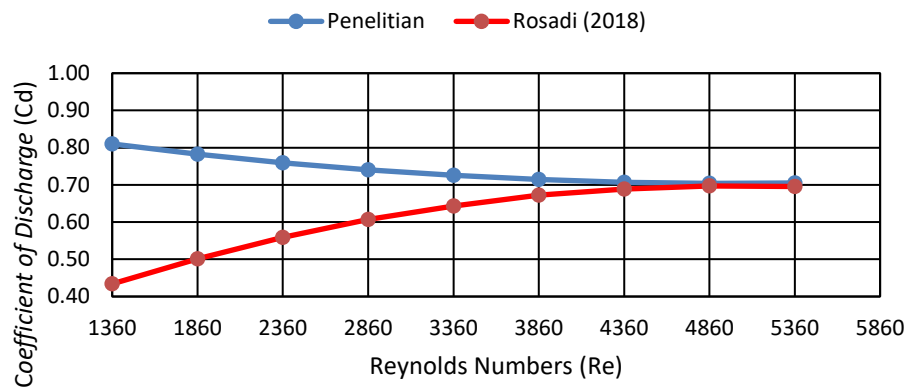
Tabel 3. Hasil perhitungan debit prediksi pipa 1 inch

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 %.

3.10 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 12.



Gambar 12. Perbandingan nilai Cd ½” penelitian dengan Cd ½” Rosadi (2018)

Gambar di atas menunjukkan bagaimana hasil perbandingan nilai Cd ½” 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*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan, perhitungan dan pembahasan dari pengujian plat *orifice* rasio beta 0,19 dengan kapasitas aliran rendah pada pipa 1 inch dan ½ inch, maka dapat disimpulkan :

1. Perbandingan debit aktual hasil pengamatan di rotameter dengan debit hasil pengukuran pada kedua pipa memiliki nilai yang hampir sama, dan juga memiliki kenaikan nilai yang hampir identik. Perbedaan debit tertinggi pada pipa 1 inch terjadi pada percobaan 15 sebesar 0,38 LPM, sedangkan perbedaan tertinggi pada pipa ½ inch terjadi pada percobaan 9 sebesar 0,05 LPM.
2. Nilai perbedaan tekanan pada kedua pipa mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya debit yang melewati *orifice*. Begitu pula nilai bilangan reynold, berbanding lurus dengan debit aktual. Nilai *coefficient of discharge* (Cd) mengalami fluktuasi walaupun cenderung turun nilainya.
3. Penggunaan alat uji *orifice* dengan rasio beta 0,19 pada pipa 1 inch dan ½ inch mendapatkan nilai koefisien *discharge* yang hampir sama pada bilangan Reynolds 600 – 8400. Perbedaan nilai koefisien *discharge* tertinggi sebesar 12 % pada bilangan Reynolds 4200. Dengan asumsi $\Delta Cd \leq 15 \%$, maka persamaan $Cd_1 = Cd_2$, dapat digunakan untuk memprediksi debit air pada ukuran pipa PVC 1” dengan rasio plat *orifice* yang sama.

Ketiga poin kesimpulan di atas dapat disimpulkan kembali bahwa *orifice plate meter* dengan rasio beta 0,19 pada pipa PVC 1” dan ½” dapat digunakan untuk mengukur debit dengan tingkat kepresisian yang cukup tinggi. *Orifice plate meter* ini juga dapat digunakan untuk memprediksi debit pada pipa PVC 1” walaupun terjadi penyimpangan sebesar 12%. Kurangnya kepresisian debit *orifice* dengan debit rotameter ini bisa disebabkan oleh

pompa yang kurang stabil pada beberapa kondisi yang menyebabkan pembacaan data perbedaan tekanan kurang presisi.

5. SARAN

Berikut ini adalah saran untuk penelitian selanjutnya agar lebih presisi dalam pengukuran debit *orifice* :

1. Peletakan *pressure taps* pada flange menggunakan jenis *vena contracta taps* agar lebih presisi dalam pengambilan data tekanan.
2. Peletakan flange pada pipa 1 inch menggunakan rumus *fully developed* agar aliran air yang terjadi berkembang penuh.
3. Sistem alat uji dipasang alat ukur elevasi agar sisi *upstream* dan *downstream* kedua pipa sejajar.
4. Mengganti pompa ke daya yang lebih besar agar aliran stabil

DAFTAR PUSTAKA

- Hollingshead, C. L., 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 Number* : Journal of Petroleum Science and Engineering. Science Direct.
- Irawan, Indra. 2015. Prinsip Kerja Orifice dan Jenis-Jenis Orifice. <https://wartasaranamedia.com/prinsip-kerja-orifice-dan-jenis-jenis-orifice>. Diakses 3 Mei 2018.
- Kurniawan, Destik. (2017). Pengujian *Orifice Plate Meter* Sebagai Alat Ukur Debit Air Dengan Kapasitas 7 LPM pada Pipa ½ Inch dan ¾ Inch (Rasio $\beta = d/D = 0,24$). Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Munson, Bruce R, dkk. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. John Willey & Sons, Inc. USA. Sixth Edition.
- Pratama, Ekwin Desta. (2017). Pengujian *Orifice Plate Meter* Sebagai Alat Ukur Debit Air Dengan Kapasitas 11 LPM pada Pipa ½ Inch dan ¾ Inch (Rasio $\beta = d/D = 0,4$). Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Rahman, M. M, dkk. (2009). *Effect of Beta Ratio and Reynold's Number on Coefficient of Discharge of Orifice Meter* : Journal of Agriculture & Rural Development 7 (1&2).
- Rosadi, Dede Dian. (2018). Pengujian *Orifice Plate Meter* Sebagai Alat Ukur Debit Air Dengan Kapasitas 8 LPM pada Pipa ½ Inch dan ¾ Inch (Rasio $\beta = d/D = 0,19$). Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Santoso, T. H. A., (2003). Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Refrigerant Petrozon Rossy 12 di dalam Saluran Halus Horizontal. Tesis. Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta