

STUDI EKSPERIMENTAL ORIFICE PLATE METER DENGAN KAPASITAS ALIRAN 1,5 SAMPAI 11 LITER PER MENIT PADA PIPA POLYVINYL CHLORIDE (PVC) ½ INCH DAN 1 INCH (RASIO $\beta = d/D = 0,4$)

Abimanyu Tirto Djati^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 : 081227922210

Email: abimanyutirtodjati@gmail.com

Abstract

The cost of a debit measuring device on the market which is fairly expensive raises the idea of making a flowrate measuring instrument that is orifice plate meter with simple construction, easy to install, and inexpensive. This research is expected to provide insight in fluid mechanics and can be applied in the industrial sector with the aim of providing an idea of flowmeter that is easy to use, inexpensive, and high precision value.

In this study using PVC pipes with ½ inch and 1 inch diameters and orifice plates made of acrylic with a thickness of 3 mm. Data retrieval method is done by varying the actual flowrate read on the rotameter from 1.5 to 11 LPM with an increase of 0.5 LPM. The pressure difference data that has been obtained is then calculated to get the value of the discharge coefficient and orifice flowrate.

The actual flowrate value read in the rotameter is almost equal to the result of the orifice flowrate calculation. The highest flowrate difference on ½ inch pipe occurred in the 3rd experiment of 5%, while the highest flowrate difference in 1 inch pipe occurred in the 2nd experiment by 20%. The value of the discharge coefficient on the two pipes that have been calculated then processed into a percentage of deviations that occur. The highest deviation occurs at reynolds > 7800 numbers exceeding 15%. Assuming $\Delta Cd \leq 15\%$ then Cd ½ inch is considered equal to Cd 1 inch, then the orifice plate with the same beta ratio can be used to predict the discharge at different pipe size.

Keywords: *orifice plate meter, pressure difference, beta ratio, flowmeter, orifice discharge, coefficient of discharge.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang perindustrian saat ini berkembang sangat pesat karena semakin banyak inovasi yang telah dibuat dan dikembangkan untuk memudahkan pekerjaan manusia. Dalam pembuatan dan pengembangan teknologi harus membutuhkan suatu sistem yang kompleks. Khususnya teknologi yang berhubungan dengan mekanika fluida seperti parameter debit aliran fluida.

Dalam dunia industri debit aliran fluida yang mengalir di sebuah pipa tertutup sangatlah penting untuk diketahui. Oleh karena itu, pentingnya alat ukur debit aliran fluida untuk mengukur debit aliran pada fluida yang terjadi di pipa. Alat ukur yang dipakai tentunya juga sudah canggih sehingga memudahkan pembacaan debit aliran fluida dan memiliki nilai akurasi yang tinggi. Dengan semakin canggihnya alat ukur tentu memiliki kekurangan seperti biaya operasional yang menjadi mahal.

Di perusahaan minyak itu sendiri menggunakan alat ukur debit sebagai alat kontrol untuk mengetahui nilai debit dan tekanan yang melewati suatu pipa. Adapun berbagai jenis alat ukur yang menggunakan prinsip beda tekanan pada sistem aliran tertutup yaitu:

1. Nozzle flow meter
2. Venturi meter
3. Orifice plate meter

Orifice plate flow meter adalah salah satu *flow meter* berbasis tekanan yang digunakan untuk mengukur laju kapasitas aliran dimana kapasitas aliran dihitung berdasarkan beda tekanan antara dua titik sesudah melintasi sebuah penghalang yang dipasang untuk menimbulkan beda tekanan tersebut. Alat ukur debit fluida ini pun sangat banyak digunakan karena desain sederhana, cara mengukurnya sederhana, murah, perawatan yang sedikit, dan mudah di instalasikan pada fluida inkompresibel dan kompresibel.

Ghurri dkk (2016) pernah melakukan penelitian mengenai pengujian *orifice flow meter* dengan kapasitas aliran rendah. Ghurri dkk menggunakan rasio diameter 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; dan 0,8. Diameter pipa *orifice* berukuran 1.8 cm dan tebal plat 10 mm. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan air dan memvariasikan 5 posisi *pressure tap* (h_{up-1} hingga h_{up-5}) pada *upstream* dan 5 posisi *pressure tap* (h_{down-1} hingga h_{down-5}) pada *downstream* berjarak 12.7 cm terhadap tekanan kolom air (mm). Hasil dari penelitian tersebut bahwa semakin besar diameter *orifice* maka semakin kecil terjadinya *pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop*-nya.

Pratama (2017) pernah melakukan pengujian tentang alat ukur debit aliran *orifice meter* dengan rasio beta 0,4 dan variasi debit 1 - 11 LPM menggunakan pipa PVC merk Wavin berdiameter $\frac{1}{2}$ inch dan $\frac{3}{4}$ inch. *Orifice* yang digunakan berbahan akrilik dengan tebal 3 mm. Pada penelitiannya ini yang diteliti adalah nilai beda tekanan pada sebelum dan sesudah melewati *orifice plate*. Hasil penelitian Pratama (2017) menunjukkan bahwa nilai koefisien *discharge* dari *orifice* dengan nilai rasio beta ($\beta = d/D = 0,4$) pada pipa $\frac{1}{2}$ inch dapat digunakan dalam memprediksi debit aliran fluida pada pipa $\frac{3}{4}$ inch dengan nilai beta yang sama, tetapi hanya kisaran angka Reynolds 6000 – 10500.

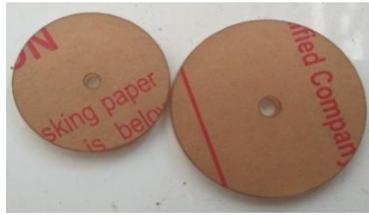
Rahman dkk (2009) melakukan penelitian mengenai efek rasio beta dan angka Reynolds terhadap *coefficient of discharge* pada *orifice plate meter*. Plat *orifice* yang digunakan sebanyak 5 buah berbahan besi cor dengan tebal plat 6 mm dan variasi rasio beta 0,30; 0,35; 0,47; 0,59; dan 0,71. Metode pengukuran beda tekanan menggunakan alat ukur manometer U, sisi *upstream* dipasang pada jarak 10 cm dari *orifice* dan sisi *downstream* dipasang pada jarak 8 cm dari *orifice*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa rasio beta 0,3; 0,35 dan 0,47 memiliki nilai *coefficient of discharge* berkisar antara 0,6 dan 0,8, sedangkan untuk rasio beta 0,59 dan 0,71 memiliki nilai *coefficient of discharge* berkisar 0,8 dan 1.

Untuk mengatasi permasalahan mahalnya harga *flowmeter* untuk pipa berdiameter besar, penulis melakukan penelitian mengenai debit fluida menggunakan *orifice plate meter* pada pipa $\frac{1}{2}$ inch dan 1 inch dengan rasio $\beta = d/D = 0,4$. Rasio beta didapat dari penelitian Pratama (2017). Dengan rasio beta yang sama, penelitian ini diharapkan dapat memprediksi debit fluida pada pipa 1 inch. Kemudian penelitian ini juga berharap dapat diaplikasikan di bidang industri untuk mengukur debit dengan harga yang murah namun tetap memiliki kepresisian yang tinggi apabila hipotesis ini cukup relevan dengan melakukan uji empiris.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan berupa fluida cair yaitu air. Air ditampung pada bak penampungan dengan ukuran volume 50 liter dan suhu kamar (± 27 °C). Alat penelitian yang digunakan terdiri dari beberapa komponen, yaitu *flange*, plat *orifice*, pipa PVC (1), pompa (2), rotameter (3), *gate valve* (4), *ball valve* (5), bak penampung air (6), dan manometer U (7).



Gambar 1. Plat orifice



Gambar 2. Rotameter

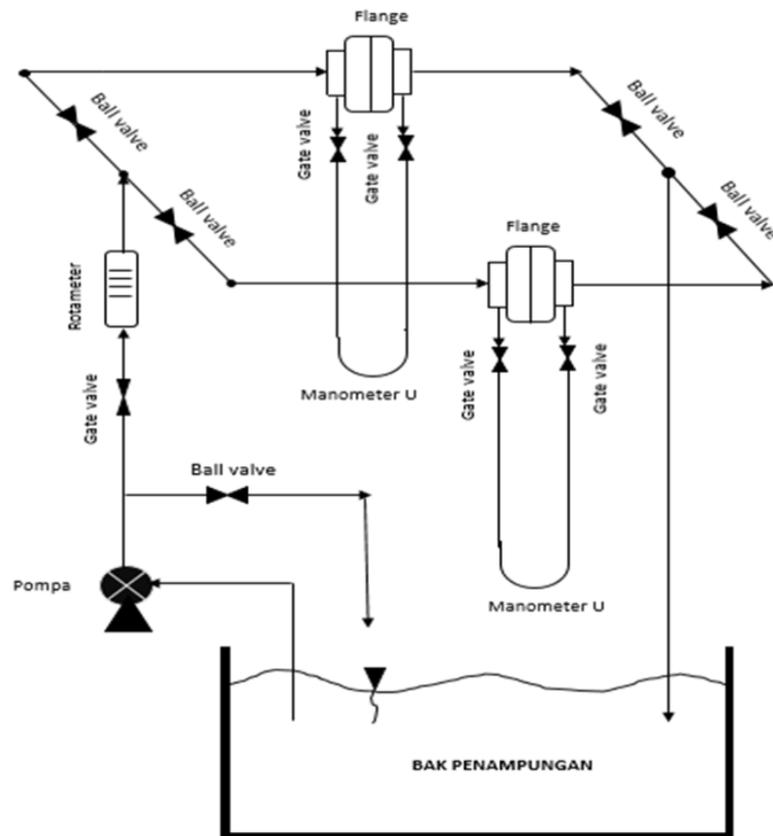


Gambar 3. Manometer U



Gambar 4. Pompa air

Pada penelitian *orifice plate meter* ini adalah sebuah instalasi perpipaan tertutup sederhana yang menggunakan pipa PVC berukuran diameter $\frac{1}{2}$ inch dan 1 inch. Masing-masing akan dipasang sepasang *flange* yang ditengahnya terdapat plat *orifice*. Berikut skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema alat penelitian

2.2 Tahap Penelitian

Tahap pelaksanaan:

- Menyiapkan tabel pengamatan pada penelitian ini.
- Variasi debit air yang digunakan 1,5 hingga 11 LPM dengan kenaikan 0,5 LPM.
- Melakukan persiapan dan memeriksa alat uji lalu mengisi air di tangki secukupnya sebelum memulai penelitian.
- Menyalakan pompa air, melakukan *testing* alat dan memastikan tidak adanya kebocoran pada sistem perpipaan.
- Apabila mengalami kebocoran pada sistem perpipaan kembali pada langkah ketiga.
- Jika tidak, maka melanjutkan dengan membuka *ball valve* untuk mengalirkan air ke plat *orifice* pada pipa PVC berukuran ½ inch dan 1 inch.

Tahap pengambilan data:

- Mengkalibrasi rotameter pada 1,5 LPM selama 1 menit.
- Membuka *ball valve* pipa PVC berukuran ½ inch atau 1 inch sesuai dengan *orifice* pada pipa yang diuji, lalu buka *gate valve* untuk membaca tekanan pada *orifice*.
- Mencatat tekanan pada titik sebelum masuk *orifice* dan titik sesudah melewati *orifice*.
- Melakukan tahap tersebut sesuai dengan tahap pelaksanaan.
- Mengulangi langkah diatas hingga semua variasi terpenuhi.

Tahap analisis data:

- Melakukan perhitungan yang meliputi: Q_{ideal} , Re , C_d (*coefficient of discharge*), $Q_{orifice}$ dan ΔC_d pada pipa ½ inch dan 1 inch.
- Data yang diolah dan dianalisis yaitu meliputi: mengolah data dengan memplot grafik Re terhadap Δp , grafik Re terhadap C_d , dan grafik Re terhadap ΔC_d .
- Plot grafik perbandingan pada pipa PVC berukuran ½ inch dan 1 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: $D_{\frac{1}{2},inch} = 18,7 \text{ mm} = 0,0187 \text{ m}$
 $Re = 2100$

Perhitungan *fully developed* pada pipa ½ inch:

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

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

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

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	0,41	547,0056
2	2,0	0,60	800,4960
3	2,5	0,90	1200,7440
4	3,0	1,40	1867,8240
5	3,5	1,92	2561,5872
6	4,0	2,57	3428,7912
7	4,5	3,27	4362,7032
8	5,0	3,91	5216,5656
9	5,5	4,63	6177,1608
10	6,0	5,34	7124,4144
11	6,5	6,23	8311,8168
12	7,0	7,06	9419,1696
13	7,5	8,11	10820,0376
14	8,0	9,15	12207,5640
15	8,5	10,40	13875,2640
16	9,0	11,79	15729,7464
17	9,5	13,01	17357,4216
18	10,0	14,48	19318,6368
19	10,5	16,47	21973,6152
20	11,0	17,92	23908,1472

Tabel 2. Hasil pengambilan data pada pipa 1 inch

No	Debit (LPM)	ΔZ (cmHg)	Δp (N/m ²)
1	1,5	0,10	133,416
2	2,0	0,10	133,416
3	2,5	0,20	266,832
4	3,0	0,25	333,54
5	3,5	0,33	440,2728
6	4,0	0,45	600,372
7	4,5	0,56	747,1296
8	5,0	0,64	853,8624
9	5,5	0,78	1040,6448
10	6,0	0,87	1160,7192

Tabel 3. Hasil pengambilan data pada pipa 1 inch (lanjutan)

No	Debit (LPM)	ΔZ (cmHg)	Δp (N/m ²)
11	6,5	1,01	1347,5016
12	7,0	1,16	1547,6256
13	7,5	1,34	1787,7744
14	8,0	1,56	2081,2896
15	8,5	1,78	2374,8048
16	9,0	2,04	2721,6864
17	9,5	2,26	3015,2016
18	10,0	2,50	3335,4
19	10,5	2,77	3695,6232
20	11,0	3,08	4109,2128

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 : 7,48 mm = 0,00748 m
- μ_{Air} : 0,001 N.s/m²
- ρ_{Air} : 1000 kg/m³
- A_1 : $2,746 \times 10^{-4}$ m²
- A_2 : $4,394 \times 10^{-5}$ m²
- Δp : 547,0056 N/m²

Perlu diketahui bahwa satuan di atas adalah SI dimana harus dikonversi terlebih dahulu debit aktual 1,5 LPM menjadi $2,5005 \times 10^{-5}$ m³/s. Maka kecepatan fluida yaitu:

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

$$v = \frac{2,5005 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{2,746 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,09106 \text{ m/s}$$

Setelah kecepatan fluida didapatkan maka bisa mencari angka Reynolds dengan menggunakan persamaan (2.13):

$$Re = \frac{\rho_{air} v D}{\mu_{air}}$$

$$Re = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,09106 \text{ m/s} \times 0,0187 \text{ m}}{0,001 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 1702,817$$

Untuk mendapatkan nilai Q_{ideal} dapat menggunakan persamaan (2.8):

$$Q_{ideal} = A_2 \sqrt{\frac{2(\Delta p)}{\rho \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}}$$

$$Q_{ideal} = 4,394 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \sqrt{\frac{2 \times 547,0056 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times \left(1 - \left(\frac{4,394 \cdot 10^{-5}}{2,746 \cdot 10^{-4}}\right)^2\right)}}$$

$$Q_{ideal} = 4,656 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Q_{ideal} telah didapatkan maka selanjutnya menentukan nilai *coefficient of discharge* (C_d) dengan Q_{aktual} yang terbaca pada rotameter. Menggunakan persamaan (2.10):

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

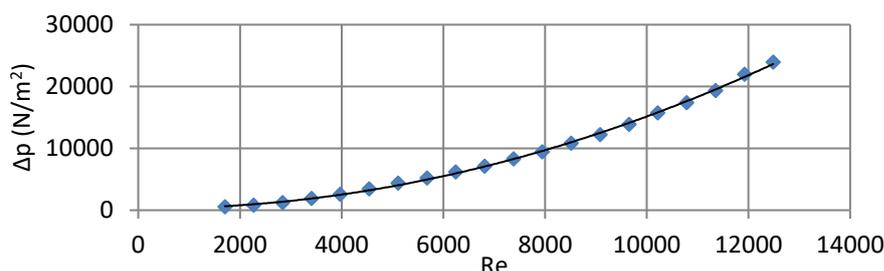
$$C_d = \frac{Q_{aktual}}{Q_{ideal}}$$

$$C_d = \frac{2,5005 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{4,656 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$C_d = 0,537$$

3.4 Coefficient of Discharge (C_d) dan Beda Tekanan pada Pipa ½ inch

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

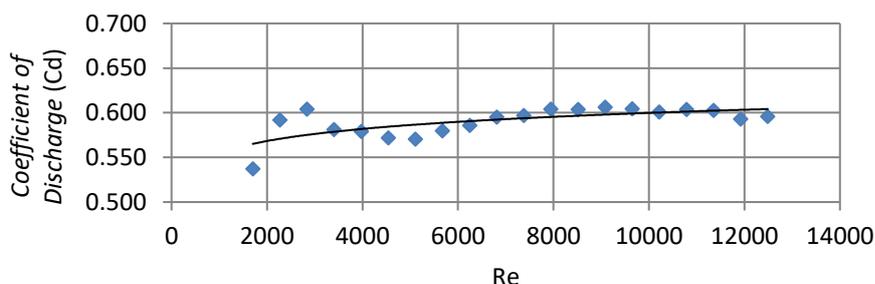


Gambar 6. Hubungan antara Re dan Δp pada pipa ½ inch

Keterangan:

$$\Delta p = 0,0002(Re)^2 - 0,0591(Re) + 301,55$$

Grafik pada gambar di atas menunjukkan bahwa perubahan tekanan mengalami kenaikan seiring bertambahnya angka Reynolds. Hubungan antara Re dan Δp pada grafik di atas menghasilkan persamaan regresi yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai debit pada *orifice*. Persamaan regresi tersebut berlaku pada kisaran angka Reynolds 1700 sampai 12500.



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

Keterangan:

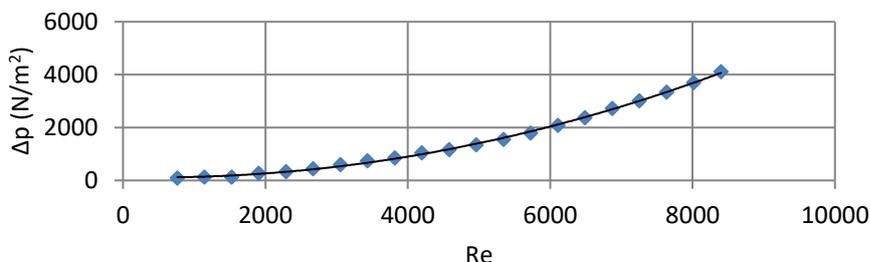
$$C_d = 0,0196 \ln(Re) + 0,4197$$

Grafik pada gambar di atas menunjukkan bahwa perubahan tekanan mengalami kenaikan seiring bertambahnya angka Reynolds. Hubungan antara Re dan C_d pada grafik di atas menghasilkan persamaan regresi yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai debit pada *orifice*. Persamaan regresi tersebut berlaku pada kisaran

angka Reynolds 1700 sampai 12500. Nilai Cd tersebut sangat mempengaruhi keakuratan pada debit aktual dan debit idealnya jika mendekati angka satu.

3.5 Coefficient of Discharge (Cd) dan Beda Tekanan pada Pipa 1 inch

Hasil perhitungan angka Reynolds, *coefficient of discharge*, dan beda tekanan kemudian diolah pada Microsoft Excel dan dimuat dalam bentuk grafik pada Gambar 8 dan 9.

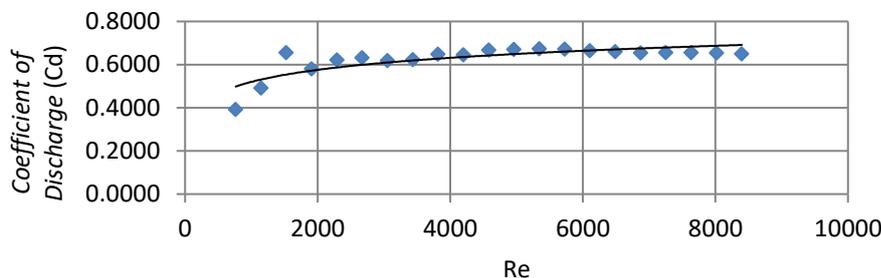


Gambar 8. Hubungan antara Re dan Δp pada pipa 1 inch

Keterangan:

$$\Delta p = 0,00006(Re)^2 - 0,0569(Re) + 128,21$$

Grafik pada gambar di atas menunjukkan bahwa perubahan tekanan mengalami kenaikan seiring bertambahnya angka Reynolds. Hubungan antara Re dan Δp pada grafik di atas menghasilkan persamaan regresi yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai debit pada *orifice*. Persamaan regresi tersebut berlaku pada kisaran angka Reynolds 1140 sampai 8400.



Gambar 9. Hubungan antara Re dan Cd pada pipa 1 inch

Keterangan

$$Cd = 0,0804 \ln(Re) - 0,0354$$

Grafik pada gambar di atas menunjukkan bahwa perubahan tekanan mengalami kenaikan seiring bertambahnya angka Reynolds. Hubungan antara Re dan Cd pada grafik di atas menghasilkan persamaan regresi yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai debit pada *orifice*. Persamaan regresi tersebut berlaku pada kisaran angka Reynolds 1140 sampai 8400. Nilai Cd tersebut sangat mempengaruhi keakuratan pada debit aktual dan debit idealnya jika mendekati angka satu.

3.6 Perhitungan Debit Orifice (Q_{orifice}) pada Pipa PVC ½ 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:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } Q_{air} &: 1 \text{ LPM} = 1,5 \times 1,667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{ideal} &: 4,656 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta p_{rata-rata} &: 547,0056 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \Delta p &= 0,0002(Re)^2 - 0,0591(Re) + 301,55 \\ 547,0056 &= 0,0002(Re)^2 - 0,0591(Re) + 301,55 \\ 0,0002(Re)^2 - 0,0591(Re) - 245,4556 &= 0 \\ Re &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ Re &= \frac{-(-0,0591) + \sqrt{(-0,0591)^2 - 4 \times 0,0002 \times (-245,4556)}}{2 \times 0,0002} \\ Re &= 1265,385 \end{aligned}$$

Setelah nilai Re diketahui, selanjutnya menghitung nilai Cd menggunakan persamaan regresi pada grafik Re terhadap Cd pada pipa $\frac{1}{2}$ inch:

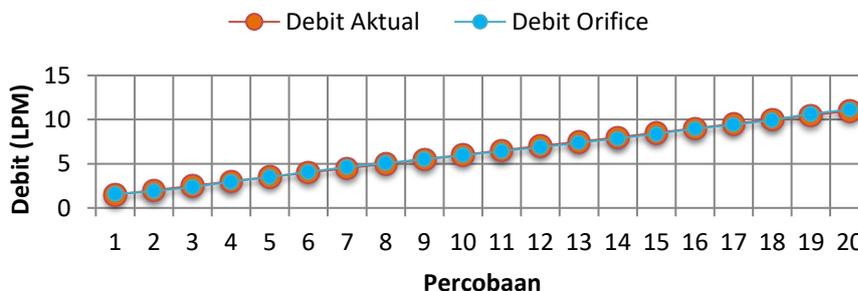
$$\begin{aligned} Cd &= 0,0196 \cdot \ln(Re) + 0,4197 \\ Cd &= 0,0196 \cdot \ln(1265,385) + 0,4197 \\ Cd &= 0,5597 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{orifice} &= C_d Q_{ideal} \\ Q_{orifice} &= 0,5597 \times 4,656 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{orifice} &= 2,61 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

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

Hasil perhitungan debit *orifice* pada pipa $\frac{1}{2}$ inch juga akan dimuat dalam bentuk grafik untuk dibandingkan dengan nilai debit aktual seperti pada Gambar 10.

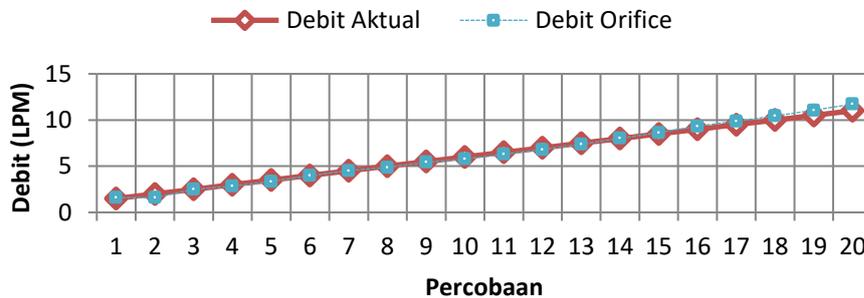


Gambar 10. Perbandingan antara debit aktual dan debit *orifice* pipa $\frac{1}{2}$ inch

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa perbedaan debit aktual yang terbaca rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan hampir sama. Penyimpangan yang terjadi antara debit aktual terbaca rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan paling tinggi sebesar 5%. Faktor yang menyebabkan nilai penyimpangan sebesar itu dikarenakan waktu pengambilan data percobaan ketiga pompa saat itu mengalami ketidakstabilan karena umur pompa yang lama jadi efisiensinya terjadi fluktuatif. Selisih tertinggi antara debit aktual dan debit *orifice* yaitu sebesar 0,14 LPM pada percobaan ketiga.

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

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

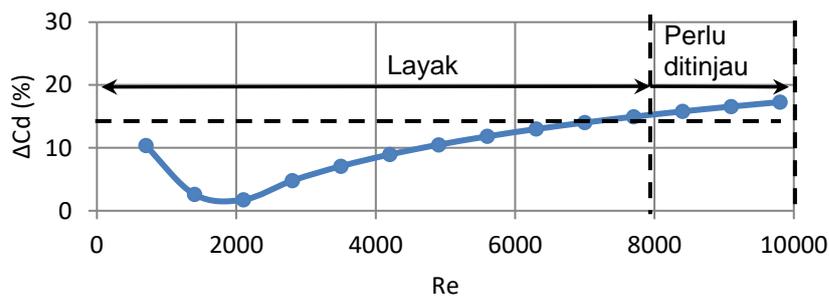


Gambar 11. Perbandingan antara debit aktual dan debit orifice pipa 1 inch

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa perbedaan debit aktual yang terbaca rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan hampir sama. Penyimpangan yang terjadi antara debit aktual terbaca rotameter dan debit *orifice* hasil perhitungan paling tinggi sebesar 20%. Faktor yang menyebabkan nilai penyimpangan sebesar itu dikarenakan pada saat debit rendah, pembacaan nilai beda tekanan di manometer U sulit dibaca sebab lubang *pressure tap* pada sisi *upstream* dan sisi *downstream* seharusnya menggunakan *vena contracta tap*. Hal lain mempengaruhi nilai penyimpangan sebesar itu karena usia pompa yang sudah terbilang lama. Selisih tertinggi antara debit aktual dan debit *orifice* pada percobaan 20 yaitu sebesar 0,73 LPM.

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. Grafik Perbandingan Re Terhadap ΔC_d

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa nilai ΔC_d mengalami penurunan signifikan pada Re 0 – 2000, kemudian naik secara perlahan. Dengan mengasumsikan nilai deviasi koefisien *discharge* $\leq 15\%$ maka nilai koefisien *discharge* pada kedua pipa dianggap sama ($C_{d1inch} = C_{d0.5inch}$). Terlihat pada gambar bahwa $Re > 8000$ melebihi 15% koefisien *discharge* nya dan perlu ditinjau kembali pada Re tersebut. Jika asumsi $C_{d1inch} = C_{d0.5inch}$ dianggap sama maka untuk menghitung debit air pada ukuran pipa berbeda tetapi rasio beta sama dapat menggunakan persamaan 1:

$$\frac{Q_{\text{aktual},1}}{Q_{\text{ideal},1}} = Cd_{1"} = Cd_{0,5"} = \frac{Q_{\text{aktual},0,5"}}{Q_{\text{ideal},0,5"}} \dots\dots\dots 1$$

- Dengan:
- $Q_{\text{aktual},0,5"}$ = debit aktual pada pipa ½ inch (m³/s)
 - $Q_{\text{ideal},0,5"}$ = debit ideal pada pipa ½ inch (m³/s)
 - $Cd_{0,5"}$ = *coefficient of discharge* pipa ½ inch
 - $Q_{\text{aktual},1"}$ = debit aktual pada pipa 1 inch (m³/s)
 - $Q_{\text{ideal},1"}$ = debit ideal pada pipa 1 inch (m³/s)
 - $Cd_{1"}$ = *coefficient of discharge* pipa 1 inch

Pada persamaan 1 ini digunakan untuk menghitung debit aktual (Q_{aktual}) pada pipa 1 inch. Data diambil dari percobaan kedua pada masing-masing pipa. Berikut ini contoh perhitungan prediksi debit aktual (Q_{aktual}) pada pipa 1 inch:

$$Q_{\text{prediksi},1"} = Cd_{0,5"} \times Q_{\text{ideal},1"} \dots\dots\dots 2$$

- Dengan:
- $Q_{\text{prediksi},1"}$ = debit prediksi pada pipa 1 inch (m³/s)
 - $Cd_{0,5"}$ = *coefficient of discharge* pipa ½ inch
 - $Q_{\text{ideal},1"}$ = debit ideal pada pipa 1 inch (m³/s)

Untuk menghitung Q_{prediksi} pada pipa 1 inch dapat menggunakan persamaan 2:

$$Q_{\text{prediksi},1"} = Cd_{0,5"} \times Q_{\text{ideal},1"}$$

$$Q_{\text{prediksi},1"} = 0,5597 \times 5,082 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{\text{prediksi},1"} = 2,844 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{\text{prediksi},1"} = 1,71 \text{ LPM}$$

Setelah selesai dihitung, maka hasil perhitungan debit prediksi pada pipa 1 inch diolah menjadi tabel yang dapat dilihat pada tabel 4.

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

No	Q_{aktual} (LPM)	$Q_{\text{prediksi},1"}$ (LPM)	ΔQ (LPM)	ΔQ (%)
1	1,5	1,71	0,21	14
2	2,0	1,73	0,27	14
3	2,5	2,46	0,04	1
4	3,0	2,78	0,22	7
5	3,5	3,21	0,29	8
6	4,0	3,77	0,23	6
7	4,5	4,22	0,28	6
8	5,0	4,53	0,47	9
9	5,5	5,01	0,49	9
10	6,0	5,31	0,69	12
11	6,5	5,73	0,77	12
12	7,0	6,16	0,84	12
13	7,5	6,63	0,87	12
14	8,0	7,17	0,83	10
15	8,5	7,68	0,82	10
16	9,0	8,23	0,77	9
17	9,5	8,68	0,82	9
18	10,0	9,15	0,85	9
19	10,5	9,65	0,85	8
20	11,0	10,19	0,81	7

Tabel di atas menunjukkan bahwa selisih atau perbedaan tertinggi dari debit aktual dengan debit prediksi sebesar 14 %. Maka dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa plat *orifice* dengan rasio beta 0,4 mampu digunakan untuk memprediksi debit pada diameter pipa yang berbeda walaupun terjadi selisih mencapai 14 %.

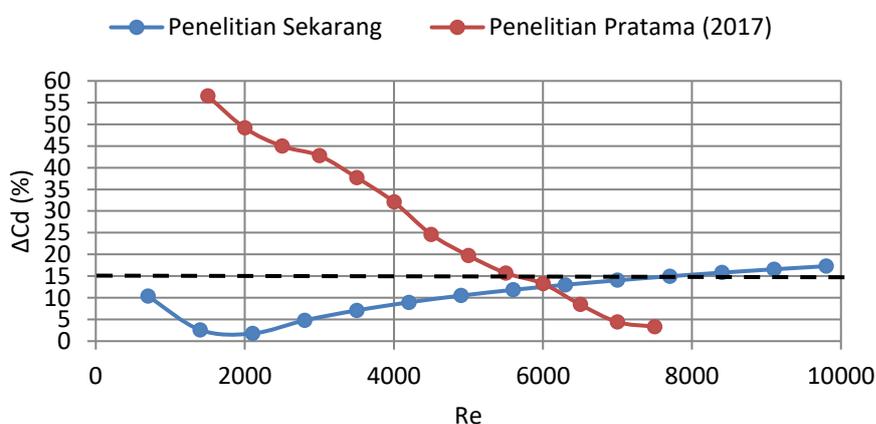
3.10 Menampilkan Hasil Penelitian Pratama dan Sekarang

Penelitian *orifice plate meter* ini memiliki beberapa perbedaan dengan penelitian Pratama (2017). Penelitian yang dilakukan oleh Pratama (2017) menggunakan rasio beta yang sama yaitu sebesar 0,4. Berikut perbedaan antara kedua penelitian yang disajikan dalam tabel 5.

Tabel 5. Perbedaan antara penelitian Sekarang dan Pratama (2017)

No	Penelitian Sekarang	Penelitian Pratama (2017)
1	Rasio beta sebesar 0,4	Rasio beta sebesar 0,4
2	Alat ukur beda tekanan menggunakan manometer U	Alat ukur beda tekanan menggunakan <i>differential pressure gauge</i>
3	<i>Pressure taps</i> menggunakan jenis <i>radius taps</i>	<i>Pressure taps</i> yang digunakan tidak ada acuannya
4	Kelayakan ($\Delta C_d < 15\%$) pada Re: 0 sampai 8000	Kelayakan ($\Delta C_d < 15\%$) pada Re: 5500 sampai 10500
5	Pipa PVC yang digunakan ½ inch dan 1 inch	Pipa PVC yang digunakan ½ inch dan ¾ inch

Perbedaan ini dapat mempengaruhi hasil penelitian yang didapat. Pengaruh yang paling signifikan adalah bedanya pipa yang digunakan dan lubang tekanan pada *flange* (*pressure taps*). Jadi, penulis hanya menampilkan hasil kedua penelitian ini dan tidak dapat dijadikan sebagai perbandingan. Hasil kedua penelitian ini disajikan ke dalam bentuk grafik pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik ΔC_d Antara Penelitian ini dan Pratama (2017)

Grafik di atas menunjukkan bahwa perbedaan antara penelitian ini dan terdahulu. Perbedaan yang terjadi ketika nilai ΔC_d pada penelitian terdahulu yang secara perlahan turun dikarenakan angka Reynolds yang semakin meningkat, sedangkan penelitian sekarang yang pada awalnya turun kemudian naik lagi secara perlahan. Faktor yang mempengaruhi perbedaan ini adalah alat ukur tekanan yang digunakan dan jenis *pressure taps* (lubang tekanan pada flange). Sehingga sangat jauh sekali untuk membandingkan hasil penelitian tahun lalu dan tahun ini.

4. KESIMPULAN

Hasil pengolahan data dari pengujian *orifice plate meter* dengan kapasitas aliran rendah (<11 LPM) pada pipa ½ inch dan 1 inch (rasio beta = 0,4) maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil perbandingan antara debit aktual dan debit *orifice* pada pipa ½ inch dan 1 inch memiliki nilai debit yang hampir sama. Pada pipa ½ inch nilai selisih antar debit aktual dan debit *orifice* yang terbesar ada dipercobaan ke 3, 14, 19 yaitu sebesar 0,14 LPM. Pipa 1 inch nilai selisih antar debit yang terbesar ada dipercobaan ke-20 yaitu sebesar 0,73 LPM.
2. Hasil perhitungan penggunaan plat *orifice* dengan rasio beta 0,4 pada pipa ½ inch dan 1 inch mendapatkan nilai koefisien *discharge* yang hampir mendekati pada angka Reynolds 700 – 7900. Selisih nilai penyimpangan koefisien *discharge* tertinggi sebesar 15% pada angka Reynolds 7700. Pada angka Reynolds > 7800, memiliki nilai penyimpangan > 15% yang artinya perlu pengujian kembali atau tidak layak. Dengan asumsi $\Delta C_d \leq 15\%$, maka $C_{d0,5inch} = C_{d1inch}$ dapat digunakan untuk memprediksi debit air pada ukuran pipa yang berbeda dengan rasio beta *orifice* yang sama. Jika $\Delta C_d > 15\%$ maka tidak layak mengukur debit air pada ukuran pipa tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, dapat dinyatakan bahwa *orifice plate meter* ini dapat digunakan untuk memprediksi debit pada pipa PVC 1 inch meskipun memiliki nilai penyimpangan sebesar 14%. Faktor yang mempengaruhi nilai penyimpangan sebesar itu karena pompa tidak stabil beberapa waktu yang menyebabkan pembacaan tekanan di manometer U kurang teliti dan presisi.

5. SARAN

Adapun beberapa saran yang mungkin akan bermanfaat untuk penelitian selanjutnya agar lebih teliti dalam pengukuran debit *orifice* yaitu:

- a) Meninjau kembali elevasi pada sisi *upstream* dan sisi *downstream* agar kedua pipa sejajar dan peletakkan *orifice* lebih tepat.
- b) Menggunakan pompa dengan daya yang lebih besar agar aliran air di dalam pipa *steady*.
- c) Penentuan letak *flange* pada pipa 1 inch yang menggunakan rumus *fully developed* agar aliran internal yang terjadi berkembang penuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Shemmeri, T. (2012). *Engineering Fluid Mechanics*. Bookboon.com. Diakses pada 28 Juni 2018, dari varunkamboj.typepad.com.
- Cengel, Y. A & Cimbala, J. M.. 2006. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. United States: The McGraw-Hills Companies. Inc.
- Chugh, A. 2012. *Types of Pressure Taps Used in Orifice*. <http://www.pipingguide.net/2009/06/types-of-pressure-taps.html>. Diakses Pada Hari Sabtu. Pukul 20.30 WIB.

- Daniel. (2017). *White Paper Fundamentals of Orifice Meter Measurement*. Melalui:<http://www.emerson.com/documents/automation/white-paper-fundamentals-of-orifice-meter-measurement-en-us-188730.pdf>. Diakses pada tanggal 1 Juli 2018.
- Ghurri, Ainul. Suryawan, AA Adhi. Surya, IG Teddy Prananda. (2013). *Pengujian Nozzle Flow Meter Sederhana Dengan Variasi Rasio Diameter*: Jurnal Mechanical, Volume 4, Nomor 3.
- Ghurri, Ainul. Tista, S.P.G Gunawan. Syamsudin. (2016). *Pengujian Orifice Flow Meter Dengan Kapasitas Aliran Rendah*: Jurnal Mechanical, Volume 7, Nomor 2.
- 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.
- 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.
- Nurchayadi, T. 2017. *Perpindahan Kalor Konveksi dan Alat Penukar Kalor*. Diktat Mata Kuliah. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- 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., Biswas, R., Mahfuz, W. I. 2009. *Effects of Beta Ratio and Reynold's Number on Coefficient of Discharge of Orifice Meter*. J Agric Rural Dev 7 (1&2), 151-156, June 2009. JARD.
- Rosadi, D. D. 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. PascaSarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Saputra, A. 2017. *Pengujian Orifice Plate Meter sebagai Alat Ukur Debit Air dengan Kapasitas 6 LPM pada Pipa ½ Inch dan ¾ Inch (Rasio $\beta = d/D = 0,16$)*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Septiadi, W. N. 2008. *Studi Eksperimental Orifice Flow Meter dengan Variasi Tebal dan Posisi Pengukuran Beda Tekanan Aliran Melintasi Orifice Plate*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol. 2 No. 1, Juni 2008 (61 – 68).

Program Studi Teknik Mesin

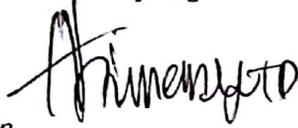
Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: STUDI EKSPERIMENTAL ORIFICE PLATE METER DENGAN KAPASITAS
Judul Naskah Publikasi: ALIRAN 1,5 SAMPAI 11 LITER PER PIEMIT PADA PIPE POLYVINYL CHLORIDE (PVC) 1/2 INCH DAN 1 INCH (RASIO $\beta = d/D = 0,4$)
Nama Mahasiswa: ABIMANYU TIRTO DJATI
NIM: 20140130247
Pembimbing 1: TITO HADJI AGUNG S., S.T., M.T.
Pembimbing 2: MUHAMMAD NADJIB, S.T., M.Eng.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

- | | | | |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*beri tanda \checkmark di kotak yang sesuai



Tanda Tangan

Nama Mahasiswa Abimanyu Tirto Djati

Tanggal 05 November 2018

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui



Tanda Tangan
Dosen Pembimbing: Tito Hadi Agung S., S.T., M.T.

Tanggal 10 November 2018


Tanda Tangan
Ketua/Sekretaris Program Studi: Berti Paripurna Kaniel., Ph.D

Tanggal 12 November 2018

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.