

Analisis Perbandingan Tingkat Ketelitian Pipa Venturi Dan Pelat Orifice Dalam Menghitung Laju Aliran Fluida

Comparative Analysis Of The Accuracy Level Of Venturi Pipe And Orifice Plate In Calculating Fluid Flow Rate

Azyura Dimas Ryandito^{1*}, Purwadi²

^{1,2} Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara
E-mail: azyuradfighterr@gmail.com

Abstract— *This study compares the accuracy of Venturi tubes and orifice plates in measuring water flow rates using the H408 Fluid Friction Apparatus. Tests were conducted with eleven variations in flowrate between 0.0002–0.000284 m³/s, and pressure differences were measured using a piezometer. The results show that the Venturi tube has an average deviation of 1%, while the orifice plate has a 7% deviation from the valid flowrate value. The Reynolds number values for both devices indicate turbulent flow ($Re > 4,000$). The Venturi tube has a higher accuracy because its gradually narrowing and widening shape minimizes pressure loss, while the orifice plate experiences greater pressure loss due to sudden changes in cross-section. Overall, the Venturi tube is more precise but expensive, while the orifice plate is more economical and easier to install if properly calibrated.*

Keywords— Fluid flow rate, Venturi tube, Orifice plate, Reynolds number, Head loss, Turbulence

Abstrak— *Penelitian ini membandingkan ketelitian pipa Venturi dan pelat orifice dalam mengukur laju aliran air menggunakan alat H408 Fluid Friction Apparatus. Pengujian dilakukan dengan sebelas variasi debit antara 0,0002–0,000284 m³/s, dan perbedaan tekanan diukur menggunakan piezometer. Hasil menunjukkan pipa Venturi memiliki rata-rata penyimpangan 1%, sedangkan pelat orifice 7% terhadap nilai debit valid. Nilai bilangan Reynolds pada kedua alat menunjukkan aliran turbulen ($Re > 4.000$). Akurasi Venturi lebih tinggi karena bentuknya yang menyempit dan melebar secara bertahap meminimalkan kehilangan tekanan, sementara pelat orifice mengalami kerugian tekanan lebih besar akibat perubahan penampang mendadak. Secara keseluruhan, pipa Venturi lebih presisi namun mahal, sedangkan pelat orifice lebih ekonomis dan mudah dipasang jika dikalibrasi dengan baik.*

Kata Kunci— Laju aliran fluida, Pipa Venturi, Pelat Orifice, Bilangan Reynold, Head Loss, Turbulen

I. PENDAHULUAN

Fluida merupakan salah satu bentuk zat yang banyak dimanfaatkan manusia karena kemampuannya untuk mengalir. Zat ini mencakup cairan dan gas yang tidak memiliki bentuk tetap serta mengikuti wadah yang menampungnya. Dalam penerapannya, fluida umumnya dialirkan melalui sistem tertutup seperti pipa agar tidak terjadi kehilangan tekanan maupun volume selama proses aliran berlangsung. Pemahaman mengenai perilaku fluida sangat penting dalam bidang teknik karena berpengaruh terhadap proses perpindahan energi, massa, dan panas.

*Azyura Dimas Ryandito
E-mail: azyuradfighterr@gmail.com

Dalam rekayasa fluida, pengukuran laju aliran menjadi aspek penting untuk mengetahui besarnya debit fluida yang mengalir dalam suatu sistem. Nilai ini dipengaruhi oleh bentuk penampang saluran dan perubahan tekanan di sepanjang aliran. Untuk memperoleh data yang akurat, digunakan alat ukur seperti pipa *Venturi* dan pelat *orifice*. Kedua alat tersebut bekerja berdasarkan *Hukum Bernoulli*, yang menyatakan adanya hubungan antara tekanan dan kecepatan fluida pada titik-titik berbeda dalam aliran.

Pada pipa Venturi, penyempitan penampang mengakibatkan kecepatan fluida meningkat dan tekanan menurun, sedangkan pada pelat orifice, lubang kecil menyebabkan perubahan tekanan yang dapat digunakan untuk menghitung laju aliran. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat ketelitian kedua alat tersebut dalam mengukur laju aliran fluida. Ketelitian menjadi faktor penting untuk menjamin keakuratan data, yang selanjutnya berpengaruh terhadap efisiensi dan kinerja sistem dalam berbagai aplikasi teknik.

II. LANDASAN TEORI

A. Mekanika Fluida dan Aliran Fluida

Mekanika fluida merupakan cabang ilmu yang mempelajari sifat dan perilaku zat yang dapat mengalir, baik berupa cairan maupun gas. Fluida tidak memiliki bentuk tetap dan akan menyesuaikan bentuk wadahnya. Dalam sistem teknik, fluida berperan penting dalam proses perpindahan energi, massa, dan panas. Aliran fluida dapat terjadi pada sistem terbuka maupun tertutup; namun pada sistem teknik modern, pipa tertutup lebih banyak digunakan untuk mengurangi kehilangan tekanan dan volume. Pemahaman terhadap kecepatan, tekanan, viskositas, serta karakteristik aliran menjadi dasar utama dalam analisis sistem fluida (Prihatiningtyas & Haryono, 2019).

B. Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli menjelaskan hubungan antara tekanan, kecepatan, dan ketinggian fluida dalam aliran ideal yang inkompresibel. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah energi potensial, kinetik, dan tekanan pada fluida sepanjang garis arus bersifat konstan, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (1)$$

Dimana :

ρ	=	densitas fluida
g	=	percepatan karena gravitasi
P_1	=	tekanan pada ketinggian 1
V_1	=	kecepatan pada ketinggian 1
h_1	=	ketinggian elevasi 1
P_2	=	tekanan pada ketinggian 2
V_2	=	kecepatan pada ketinggian 2
h_2	=	ketinggian pada elevasi 2

Hukum Bernoulli menjadi dasar kerja berbagai alat ukur laju aliran seperti pipa Venturi, pelat orifice, flow nozzle, dan pitot tube (Sultan et al., 2020). Dengan prinsip ini, perbedaan tekanan yang terjadi akibat perubahan luas penampang dapat digunakan untuk menentukan kecepatan dan debit aliran

C. Pipa Venturi

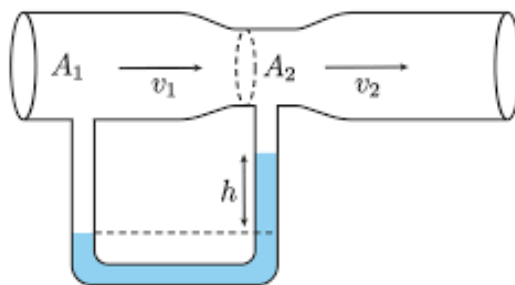
Pipa Venturi atau Venturi meter merupakan alat pengukur laju aliran fluida yang bekerja berdasarkan prinsip Bernoulli dan kontinuitas. Alat ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian konvergen (penyempitan), throat (bagian sempit), dan divergen (pelebaran). Saat fluida melewati bagian sempit, kecepatannya meningkat dan tekanannya menurun. Perbedaan tekanan antara bagian masuk dan throat diukur untuk menentukan debit aliran menggunakan persamaan:

$$Q = C_d A_1 \left(\frac{2g(h_1 - h_2)}{\left(\frac{A_1^2}{A_2^2} \right) - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Dengan:

- A_1 = luasan pipa luar
- A_2 = luasan pipa dalam
- h = selisih head
- C_d = *coefficient of discharge* $0 < C_d < 1$
- Q = debit aliran
- g = gravitasi

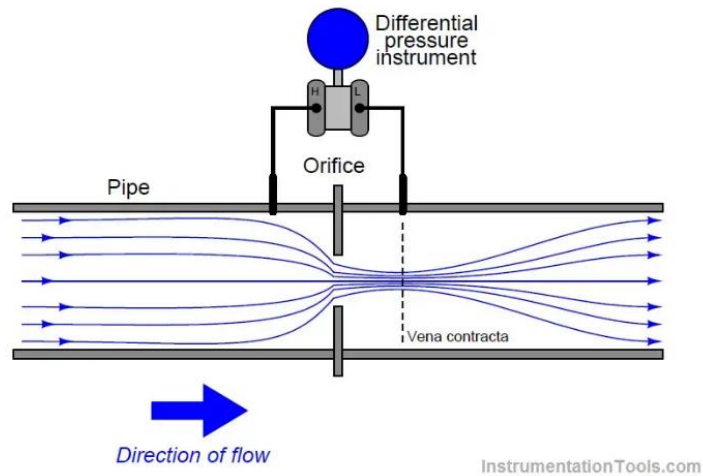
Bentuk Venturi yang menyempit dan melebar secara bertahap meminimalkan kehilangan energi akibat turbulensi sehingga menghasilkan tingkat akurasi pengukuran yang tinggi (Prabowo et al., 2019).



Gambar 1. Venturi Tube

D. Pelat Orifice

Pelat orifice adalah lempengan tipis dengan lubang di tengahnya yang berfungsi menghambat sebagian aliran fluida untuk menimbulkan perbedaan tekanan antara hulu dan hilir. Berdasarkan perubahan tekanan tersebut, laju aliran fluida dapat dihitung menggunakan persamaan *Bernoulli*. Tipe pelat orifice bervariasi, seperti *concentric*, *eccentric*, *segmental*, dan *quadrant edge*, yang disesuaikan dengan jenis fluida dan kondisi sistem. Meskipun desainnya sederhana dan biaya pembuatannya rendah, pelat *orifice* menghasilkan kehilangan tekanan (*head loss*) yang lebih besar dibanding pipa Venturi (Priyadi et al., 2022).



Gambar 2. Orifice Plate

E. Bilangan Reynolds

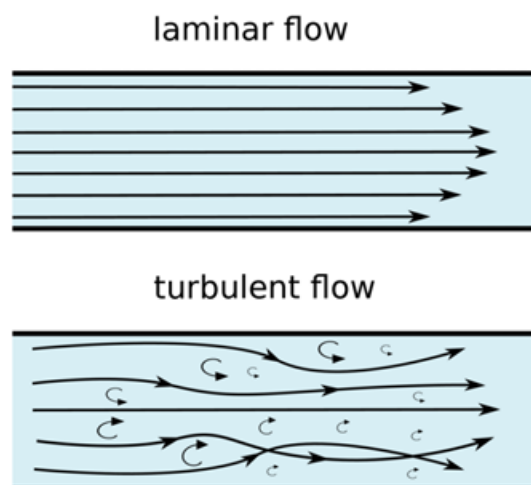
Bilangan Reynolds (Re) digunakan untuk menentukan jenis aliran fluida dalam pipa, apakah laminar, transisi, atau turbulen. Persamaan Reynolds dinyatakan sebagai:

$$Re = \frac{Ud}{\nu} \quad (3)$$

Dengan :

- Re = bilangan Reynolds
- U = kecepatan fluida
- d = diameter pipa
- ν = kekentalan kinematik fluida

Nilai $Re < 2.000$ menunjukkan aliran laminar, $Re > 4.000$ menunjukkan aliran turbulen, sedangkan nilai di antara keduanya merupakan aliran transisi (Riani et al., 2023). Bilangan ini penting dalam menilai karakteristik aliran dan menentukan keakuratan alat ukur.



Gambar 3. Jenis Aliran

F. Head Loss

Head loss adalah kehilangan energi yang terjadi pada aliran fluida akibat gesekan dengan dinding pipa atau perubahan penampang. Pada pelat orifice, perubahan mendadak pada luas penampang menyebabkan turbulensi yang meningkatkan head loss. Sebaliknya, pipa Venturi dengan perubahan penampang bertahap mengurangi kehilangan tekanan, sehingga menghasilkan pengukuran debit yang lebih akurat (Prawesti, 2018).

G. Laju Aliran

Laju aliran atau debit merupakan jumlah fluida yang melewati suatu penampang pipa dalam selang waktu tertentu, sehingga dapat dinyatakan sebagai volume fluida per satuan waktu. Besarnya debit aliran berpengaruh langsung terhadap kecepatan fluida dan distribusi tekanan pada sistem perpipaan. Peningkatan debit umumnya akan menyebabkan kenaikan nilai *head loss* akibat bertambahnya gesekan dan turbulensi dalam pipa (Dharma & Prasetyo, 2012). Karena itu, laju aliran menjadi parameter penting dalam menentukan ketelitian alat ukur berbasis perbedaan tekanan. Untuk membandingkan hasil pengukuran debit pada alat ukur yang digunakan dalam penelitian, persentase selisih debit dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta Q = \frac{Q_o - Q}{Q} \times 100\% \quad (4)$$

Dengan:

- ΔQ = perbandingan debit aliran fluida dengan alat ukur
- Q_o = laju aliran pada pelat orifice atau pipa venturi
- Q = laju aliran fluida

III. METODE

A. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Akademi Angkatan Udara menggunakan air (H_2O) sebagai fluida uji. Peralatan yang digunakan meliputi pipa venturi, pelat orifice, piezometer, dan pompa tekanan yang terpasang pada sistem *H408 Fluid Friction Apparatus*. Fluida dialirkan melalui masing-masing alat dengan sebelas variasi debit antara 0,0002–0,000284 m³/s. Selisih tekanan antara bagian upstream dan downstream diukur menggunakan piezometer untuk menghitung debit atau laju aliran menggunakan persamaan (2) serta bilangan Reynold menggunakan persamaan (3). Hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai debit aktual menggunakan persamaan (4) untuk menentukan tingkat ketelitian tiap alat.

1. Instrument Penelitian

a. Venturi Tube

Venturi tube yang digunakan memiliki dimensi sebagai berikut.

TABEL I
DIMENSI VENTURI TUBE YANG DIGUNAKAN

C_d	0.96
d_1	26.0 mm
d_2	16.0 mm
A_1	$5.309 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
A_2	$2.011 \times 10^{-4} \text{ m}^2$



Gambar 4. Venturi Tube yang digunakan

b. *Orifice Plate*

Pelat orifice yang digunakan memiliki dimensi sebagai berikut.

TABEL II
DIMENSI ORIFICE PLATE YANG DIGUNAKAN

C_d	0.601
d_1	51.9 mm
d_2	20.0 mm
A_1	$2.116 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
A_2	$3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$



Gambar 5. Orifice Plate yang digunakan

c. *Fluid Pump*

Fluid pump berfungsi sebagai pemberi debit aliran fluida valid pada system.



Gambar 6. Fluid Pump

d. *Piezometer*

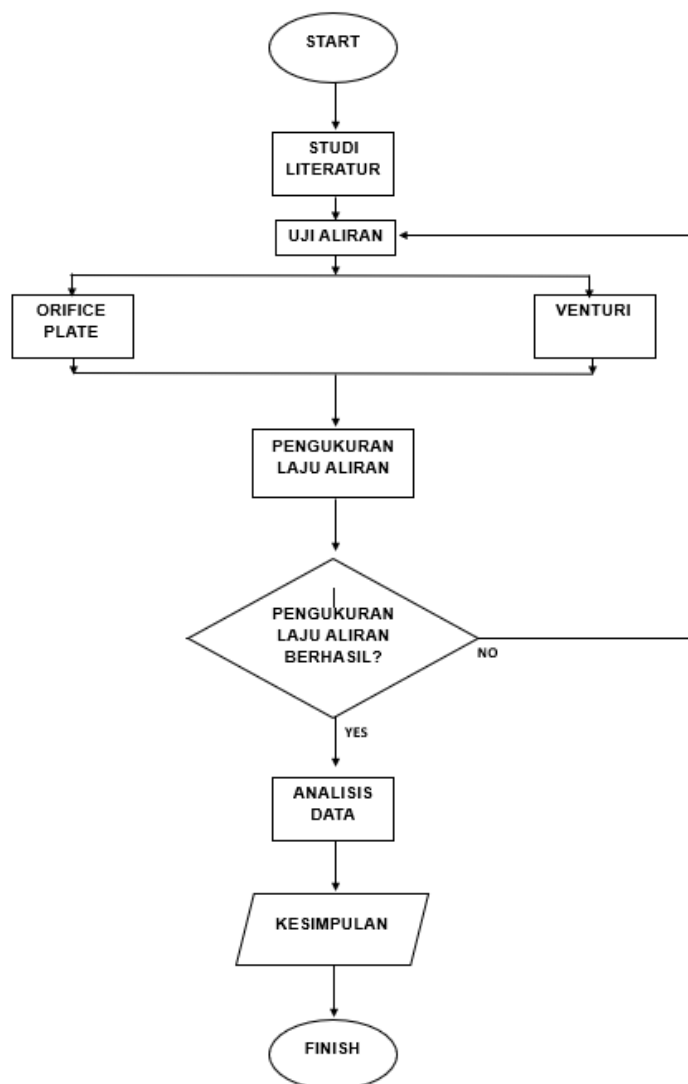
Piezometer berfungsi sebagai pengukur *head loss* atau perbedaan tekanan pada tiap alat ukur.



Gambar 7. Piezometer

2. Flowchart

Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan sebagai berikut.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

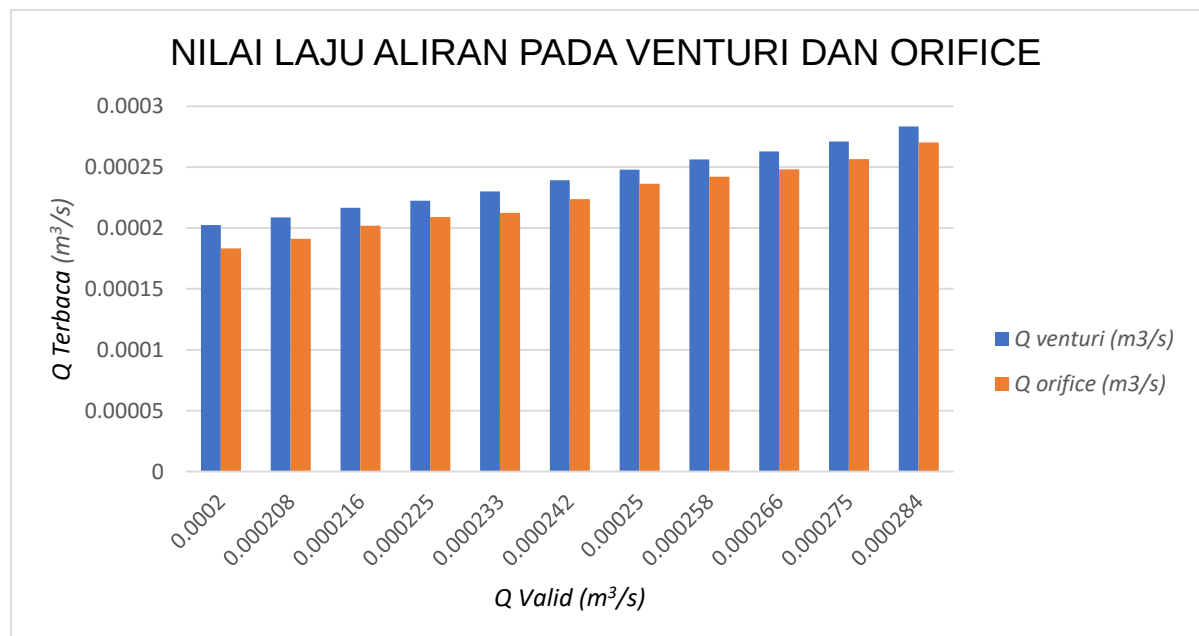
A. Pengujian

Berikut ini merupakan proses pengujian venturi tube dan orifice plate dengan variasi sebelas debit aliran fluida. Setelah diasumsikan dengan berbagai parameter dan perumusan masalah yang sudah ditentukan maka diperoleh data-data pengujian. Analisis ini berfokus pada pengaruh bentuk alat ukur venturi dan orifice terhadap penghitungan laju aliran dalam hal ini persentase tingkat ketelitian dan jenis aliran yang dihasilkan.

B. Pembahasan

TABEL III
NILAI LAJU ALIRAN PADA VENTURI DAN ORIFICE

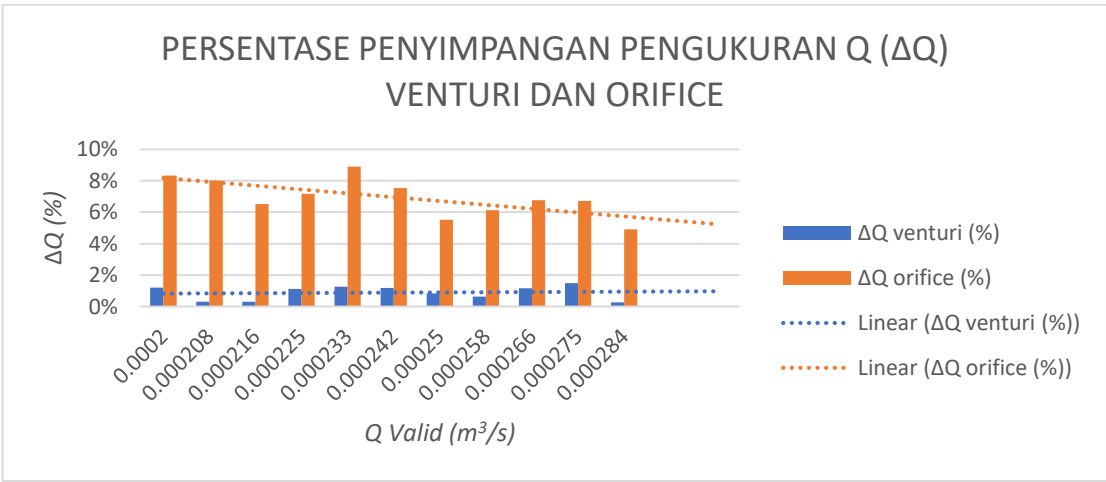
$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q \text{ venturi (m}^3/\text{s)}$	$Q \text{ orifice (m}^3/\text{s)}$
0,0002	0,000202404	0,000183339
0,000208	0,000208633	0,000190981
0,000216	0,00021666	0,000201903
0,000225	0,000222491	0,000208867
0,000233	0,000230035	0,000212264
0,000242	0,000239131	0,000223745
0,00025	0,000247893	0,000236185
0,000258	0,000256356	0,000242165
0,000266	0,00026293	0,000248002
0,000275	0,000270924	0,000256507
0,000284	0,000283245	0,000270088



Gambar 8. Nilai laju aliran pada venturi dan orifice

TABEL IV
PERSENTASE PENYIMPANGAN PERHITUNGAN LAJU ALIRAN

$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	$\Delta Q \text{ venturi}$	$\Delta Q \text{ orifice}$
0,0002	1%	8%
0,000208	0%	8%
0,000216	0%	7%
0,000225	1%	7%
0,000233	1%	9%
0,000242	1%	8%
0,00025	1%	6%
0,000258	1%	6%
0,000266	1%	7%
0,000275	1%	7%
0,000284	0%	5%



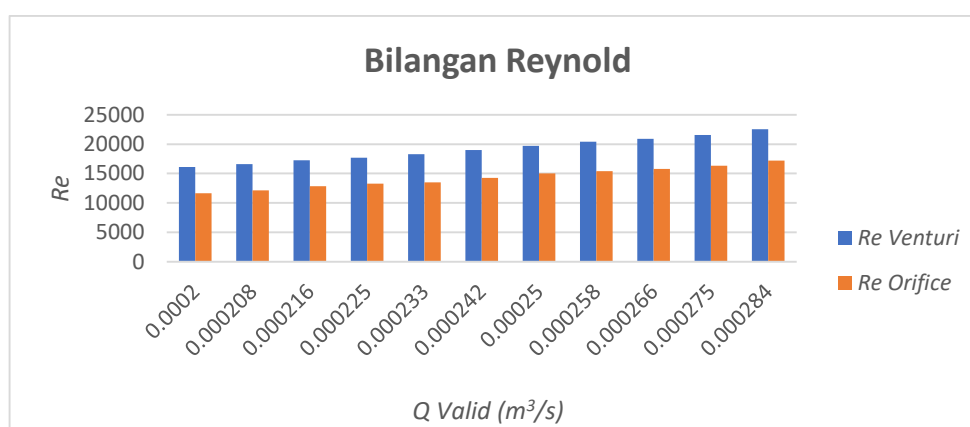
Gambar 9. Pesentase penyimpangan alat ukur pipa venturi dan pelat orifice

TABEL V
BILANGAN REYNOLD

$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	$Re \text{ Venturi}$	$Re \text{ Orifice}$
0,0002	16103,74107	11670,18783
0,000208	16599,35635	12156,65257
0,000216	17238,02495	12851,87062
0,000225	17701,91117	13295,16815

Analisis Perbandingan Tingkat Ketelitian Pipa Venturi Dan Pelat Orifice Dalam Menghitung Laju Aliran Fluida (Azyura Dimas Ryandito)

0,000233	18302,14556	13511,36392
0,000242	19025,8278	14242,2281
0,00025	19722,97429	15034,05789
0,000258	20396,30619	15414,7272
0,000266	20919,3733	15786,2197
0,000275	21555,36524	16327,61798
0,000284	22535,6499	17192,10294



Gambar 10. Bilangan Reynold

Dari hasil pengujian, pipa Venturi menunjukkan nilai rata-rata penyimpangan 1%, sedangkan pelat orifice memiliki penyimpangan 7%. Nilai bilangan Reynolds berkisar antara 16.103–22.535 untuk Venturi dan 11.670–17.192 untuk orifice, menunjukkan bahwa aliran bersifat turbulen ($Re > 4.000$).

Perbedaan tingkat ketelitian ini disebabkan oleh *head loss* yang lebih besar pada pelat orifice akibat perubahan penampang yang mendadak, sehingga menimbulkan kerugian energi dan turbulensi berlebih. Sebaliknya, bentuk konvergen-divergen Venturi menghasilkan transisi aliran yang halus, menurunkan kerugian energi dan meningkatkan akurasi pengukuran.

V. KESIMPULAN

Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa pipa venturi memiliki akurasi pengukuran laju aliran yang lebih baik dibandingkan pelat orifice. Pada debit awal 0,0002 m³/s, Venturi mencatat nilai 0,000202404 m³/s dengan penyimpangan 1%, sedangkan orifice menghasilkan 0,000183339 m³/s dengan penyimpangan 8%. Pada debit akhir 0,000284 m³/s, nilai yang diperoleh dari Venturi adalah 0,000283245 m³/s dengan penyimpangan 0%, sementara orifice memberikan nilai 0,000270088 m³/s dengan penyimpangan 5%. Secara umum, Venturi memiliki rata-rata penyimpangan hanya sekitar 1%, jauh lebih kecil dibandingkan orifice yang mencapai 7%, meskipun pelat orifice tetap dapat digunakan karena desainnya sederhana, rendah biaya, dan

ketelitiannya dapat dikoreksi melalui proses kalibrasi. Perbedaan ketelitian ini berkaitan dengan karakteristik geometri kedua alat, yang menyebabkan variasi tingkat turbulensi aliran. Venturi menghasilkan aliran dengan bilangan Reynolds lebih tinggi (16.104–22.535) dibanding orifice (11.670–17.192), sehingga memberikan pengukuran lebih akurat. Selain itu, susunan bentuk Venturi yang bertahap menyebabkan kerugian tekanan lebih kecil, sedangkan pelat orifice menimbulkan *head loss* lebih besar akibat perubahan luas penampang yang mendadak.

Beberapa rekomendasi dapat dipertimbangkan untuk penelitian berikutnya. Variasi sudut inlet dan outlet serta panjang *throat* pada pipa Venturi perlu dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *head loss*, demikian pula bentuk dan diameter lubang pada pelat orifice dapat divariasikan untuk melihat perubahan kerugian tekanannya. Selain itu, penggunaan fluida dengan sifat fisik berbeda, seperti viskositas dan massa jenis yang bervariasi, dapat membantu menentukan jenis alat ukur yang paling sesuai untuk kondisi tertentu. Penelitian lanjutan juga dapat memasukkan variabel suhu dan tekanan berbeda sebagai simulasi terhadap kondisi operasional nyata di lingkungan tempat fluida digunakan.

REFERENSI

- [1] U. S. Dharma and G. Prasetyo, "Pengaruh perubahan laju aliran terhadap tekanan dan jenis aliran yang terjadi pada alat uji praktikum mekanika fluida," *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 1, no. 2, 2012.
- [2] Q. Fitriyah, A. A. D. Setyawan, and M. P. E. W. Prihadi, "Aplikasi hukum Bernoulli pada alat peraga flow meter untuk praktikum mekanika fluida," in *Prosiding Seminar Nasional NCJET*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [3] A. Ghurri, S. G. Tisna, and S. Syamsudin, "Pengujian orifice flow meter dengan kapasitas aliran rendah," *MECHANICAL*, vol. 7, no. 2, 2016.
- [4] M. S. Habiba, *Studi eksperimental tentang perubahan beda tekanan dalam aliran dua fase cair-cair dengan variasi sudut ekspansi pada saluran pembesaran mendadak*, vol. 10, no. 1, 2024.
- [5] H. Makbul and A. Z. Syaiful, *Uji perbandingan performa venturimeter dan orifice meter dalam pengukuran aliran fluida dengan perbedaan bukaan katup*, 2024.
- [6] D. Prabowo, S. Syaiful, and J. Jamari, "Rancang bangun venturi scrubber terhadap penurunan emisi jelaga," *Infotekmesin*, vol. 10, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [7] S. Prihatiningtyas and H. E. Haryono, "Alat peraga sebagai upaya peningkatan pemahaman konsep peserta didik pada materi mekanika fluida," *SEJ (Science Education Journal)*, vol. 3, no. 2, pp. 131–138, 2019.
- [8] I. Priyadi, F. Hadi, R. Faurina, and I. Agustian, "Ventilator non-invasive berbasis kontrol volume dengan orifice plate flow meter," *ELKOMIKA*, vol. 10, no. 2, p. 259, 2022.
- [9] N. I. Riani, A. Lostari, and M. A. Wahyudi, "Pengaruh variasi diameter pipa dan bukaan katup pada alat uji Osborne Reynolds Apparatus," *M.A.*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [10] W. N. Septiadi, "Studi eksperimental orifice flow meter dengan variasi tebal dan posisi pengukuran beda tekanan aliran melintasi orifice plate," vol. 2, no. 1, 2008.
- [11] A. D. Sultan, R. Rizky, H. Hidayat, S. Mulyani, and W. A. Yusuf, "Analysis of the effect of cross-sectional area on water flow velocity by using Venturimeter tubes," *Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 8, no. 1, pp. 94–99, 2020.

- [12] S. I. Zulfa, A. Nikmah, and E. K. Nisak, “Analisa penguasaan konsep pada tekanan hidrostatik dan hukum Pascal mahasiswa pendidikan fisika,” *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. 24, no. 1, p. 24, 2020.