



## Studi Eksperimental Uji Orifice dengan Aliran Fluida Gas-Cair Searah Horizontal pada Angka Reynolds Rendah

Akhsan Hamka<sup>1✉</sup>, Mahmuddin<sup>2</sup>, Syahrir Habiba<sup>3</sup>

Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia<sup>(1)</sup>

Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia<sup>(2)</sup>

DOI: 10.31004/jutin.v6i3.16375

✉ Corresponding author:

[akhsan.hamka@gmail.com]

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> Diameter Orifice; Distribusi Tekanan; Downstream; Reynolds; Upstream</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan pola aliran pada daerah upstream dan downstream dengan variasi debit cairan dan udara. Selain itu tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola tekanan statis sepanjang saluran uji orifice pada arah upstream dan downstream. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan variasi aliran fluida cair dengan bilangan <math>Re = 2523</math> dan diperbesar menjadi <math>Re = 2670</math>, <math>Re = 2862</math>, <math>Re = 3055</math>, <math>Re = 3248</math>, dan <math>Re = 3440</math>. Aliran fluida gas yang diinjeksikan dengan debit <math>0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}</math> dan <math>0.13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}</math>, hal ini dilakukan untuk melihat pola-pola aliran yang akan terjadi. Rasio diameter (<math>\beta</math>) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0.62; 0.68; dan 0.81 dengan plat orifice berdiameter 20 mm, 22 mm, 26 mm dan diameter pipa 32 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi debit aliran yang melewati orifice maka semakin besar tekanan yang terjadi. Penambahan injeksi udara dengan debit <math>Q_{udara} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}</math> dan <math>Q_{udara} = 0.13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}</math> pada debit variasi aliran fluida cair mempengaruhi besarnya tekanan yang melewati plat orifice diameter 20 mm, 22 mm dan 26 mm. Tekanan maksimal yang dihasilkan pada aliran 1 fasa yaitu 102902 Pa pada bilangan <math>Re = 3440</math> dengan diameter orifice = 20 mm sedangkan tekanan maksimal yang dihasilkan pada aliran 2 fasa yaitu 102820 Pa pada bilangan <math>Re = 3440</math> dengan diameter orifice = 20 mm.</p>
<p><i>Keywords:</i> Downstream; Orifice Diameter; Pressure Distribution; Reynolds; Upstream;</p>	<p><b>Abstract</b></p> <p>This study aims to describe flow patterns in the upstream and downstream areas with variations in liquid and air discharge. In addition, the purpose of this study is to determine the pattern of static pressure along the orifice test channel in the upstream and downstream directions. The method used is to use variations in liquid fluid flow with a discharge of <math>Re</math> Number = 2523 and enlarge to <math>Re = 2670</math>, <math>Re = 2862</math>, <math>Re = 3055</math>, <math>Re = 3248</math>, dan <math>Re = 3440</math>. The injected gas fluid</p>

flow with a discharge of  $0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  and  $0.13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , this is done to see the flow patterns that will occur. The diameter ratio ( $\beta$ ) used in this study is 0.62; 0.68; and 0.81 with orifice plates with a diameter of 20 mm, 22 mm, 26 mm and a pipe diameter of 32 mm. The research results show that the higher the flow rate through the orifice, the greater the pressure that occurs. The addition of air injection with debits of  $0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  and  $0.13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  at the discharge of variations in liquid fluid flow affects the amount of pressure that passes through the orifice plate with diameters of 20 mm, 22 mm and 26 mm. The maximum pressure generated in 1-phase flow is 102902 Pa at  $Re = 3440$  with an orifice diameter = 20 mm while the maximum pressure generated at 2-phase flow is 102820 Pa at  $Re = 3440$  with orifice diameter = 20 mm. and  $20^\circ$ .

## 1. PENDAHULUAN

Aliran multifase adalah aliran yang fasenya terdiri fase padat, cair dan gas saling berinteraksi antara satu dengan yang lainnya dan setiap hubungan antar fase pergerakannya saling mempengaruhi. Sedangkan aliran dua fase adalah aliran yang terdiri dari dua fase yang berbeda, dan merupakan bagian aliran multiphase (Jalaluddin et al., 2019). Aplikasi aliran multiphase misalnya kavitasi pompa dan turbin serta ketel uap, proses reaktor nuklir di sistem pembangkit tenaga nuklir, proses destilasi, industri perminyakan dan pertambangan, bidang medis untuk aliran darah dan sperma, sehingga akan menjadi sangat berharga untuk memikirkan aplikasi aliran multiphase. Aliran dua fase yang mengalami pola aliran yang berubah-ubah karena pengaruh interaksi antara fase, bilangan Reynolds, orientasi dan geometri pipa akan menyebabkan pressure drop juga berubah-ubah pula (Ghurri et al., 2016).

Penelitian tentang karakteristik tekanan pada sisi upstream dan downstream pada orifice meter dengan cairan viskositas rendah sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Habiba et al., 2021; Mahmuddin et al., 2010a, 2010b). Sedangkan pada penelitian ini mempelajari pola tekanan pada sisi up stream dan down stream pada orifice meter dengan aliran 1 fase dan 2 fase. Dengan demikian diperoleh karakteristik pola aliran dan pola tekanan dengan menggambarkan kurva tekanan terhadap titik pengukuran pada sisi up stream dan down stream dengan aliran cairan viskositas tinggi dan gas.

(Mahmuddin, 2018) melakukan penelitian tentang Studi Eksperimental Penurunan Tekanan Aliran Melewati Belokan Pipa Horizontal dengan Variasi Rasio R/D. Penelitian ini membahas bagaimana karakteristik penurunan tekanan melalui belokan pipa horizontal dengan R/D adalah 19, 26 dan 33 dan sudut belokan (SD)  $180^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $20^\circ$ . Penurunan tekanan dapat diketahui dengan mengukur beda tinggi cairan manometer U, sedangkan debit aliran dengan flowmeter. Variasi debit aliran sebesar 0,00015 sampai 0,00030  $\text{m}^3/\text{s}$ . Seksi uji adalah belokan pipa dengan diameter 2,63, 1,92 dan 1,5 cm. Kurva penurunan tekanan pada R/D besar menunjukkan meningkat dengan bertambahnya debit aliran, karena perubahan kecepatan aliran terhadap gesekan permukaan pipa dan efek viskos yang lemah. Selain itu, penurunan tekanan dengan SD besar meningkat dengan peningkatan debit aliran. (Nur et al., 2021) melakukan penelitian tentang Studi Aliran Dua Fase Gas dan Cair Pada Belokan Pipa  $90^\circ$ .

Penelitian ini mengkaji karakteristik aliran dua fase melalui penampang pipa belokan posisi vertikal. Mengidentifikasi pola aliran dan pengukuran beda tekanan yang diuji pada debit air Q1 0,0001581  $\text{m}^3/\text{s}$  dan Q2 0,0000932  $\text{m}^3/\text{s}$  divariasikan 5x variasi peningkatan debit udara. Hasil studi pengamatan diperoleh pola aliran pola aliran, kantung dan acak. Distribusi tekanan aliran dua fase cair dan gas pada arah radial nilai tertinggi rata-rata pada sudut  $0^\circ$ , debit air debit air Q3 (0,0001581  $\text{m}^3/\text{s}$ ) dan variasi udara pada debit Q5 (0,000556  $\text{m}^3/\text{s}$ ) nilai terendah pada sudut radial  $90^\circ$ . Sedangkan pada arah tangensial, nilai tertinggi rata-rata pada sudut  $150^\circ$  sedangkan nilai tertinggi rata-rata terendah pada sudut radial  $100^\circ$ ,  $150^\circ$  dan  $160^\circ$  sedangkan terendah pada sudut  $55^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $20^\circ$ . (Sukamta et al., 2019) menyajikan hasil penelitiannya, mengenai korelasi signifikan antara kecepatan superfisial dan viskositas pada pola aliran dua fase dalam saluran mini dengan kemiringan  $30^\circ$ . Penelitian ini menggunakan pipa kaca mini berdiameter 1,6 mm dan panjang 130 mm dengan kemiringan  $30^\circ$ . Fluida yang digunakan adalah udara-air gliserin dengan konsentrasi 40 %, 50%, 60%, 70%. Kecepatan superfisial cair JL = 0,033 - 4,935 m/s dan kecepatan dangkal gas JG = 0,025 - 66,3 m/s. memvisualisasikan pola aliran. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan superfisial gas/air dan viskositas cairan berpengaruh secara signifikan untuk membentuk pola aliran.

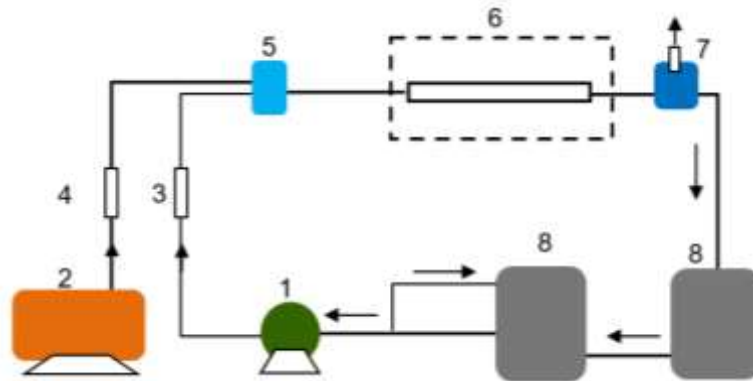
Pola aliran plug, bubbly, slug annular, annular, dan churn berhasil ditemukan. Peta pola aliran menunjukkan bahwa distribusi pola aliran berbeda karena peningkatan viskositas. (Wibawanto et al., 2016) pada penelitiannya Karakteristik aliran dua fase pada saluran ekspansi tiba-tiba yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran dua fase yang melalui saluran dengan ekspansi tiba-tiba berupa perubahan pola aliran dan pressure recovery. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan superfisial air 0,2-1,3 m/s dan kecepatan superfisial udara 0,2-1,9 m/s yang menghasilkan pola tiga pola aliran yaitu bubble, plug, dan slug. Saluran ekspansi mengakibatkan adanya beberapa perubahan pola aliran yang semula plug pada saluran hulu menjadi bubble pada saluran hilir dan slug menjadi plug. Pressure recovery hasil percobaan dibandingkan dengan persamaan model aliran homogen dan korelasi Wadle, kedua korelasi tersebut memiliki prediksi dengan nilai simpangan baku sebesar 0,32 dan 0,43.

## 2. METODE

### A. Alat dan Bahan

Bahan yang Digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Cairan viskos, bahan tersebut menggunakan air yang dikentalkan dengan bahan sirup ABC atau dicampur bahan kimia berupa CMC.
- 2) Gas yaitu udara yang diambil dari kompresor untuk gas kerja, dan fluida cair dan gas berada pada temperature kamar.



Gambar 1 Skema instalasi penelitian

Keterangan Gambar 1

1. Pompa,
2. Kompresor,
3. Flowmeter air,
4. Flowmeter udara
5. Pencampur,
6. Seksi uji (Orifice meter)
7. Separator,
8. Reservoir

### B. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian meliputi tahapan sebagai berikut :

- 1) Instalasi pengujian orifice meter, flowmeter, flowmeter dan alat ukur lainnya dipastikan dalam kondisi baik.
- 2) Orifice meter dipasang pada posisi seperti pada Gambar 1
- 3) Rasio diameter ( $\beta$ ) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0,62; 0,68; dan 0,81.
- 4) Lubang tap tekan statis harus dibor dengan arah radial terhadap tube meter, yaitu garis tengah lubang tap harus memotong dan membentuk sudut  $90^\circ$  terhadap sumbu tube meter, tepi dalamnya bersih tanpa ada kotoran bekas pengeboran.
- 5) Diameter lubang tap tekan statis pada bagian permukaan dalam dan sepanjang lubang pengeboran harus  $9,5 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ .
- 6) Tepi lubang tap tekan pada bagian permukaan dalam pipa harus bebas dari tonjolan dan boleh sedikit bundar.

- 7) Ketegaklurusan pemegang orifice harus mempertahankan posisi plat orifice tegak lurus pada sudut 90° terhadap sumbu tube meter.
- 8) Orifice dibuat dari plat setebal 7 mm, dengan perbandingan diameter d/D bervariasi atau ( $\beta=0.62, 0.68, \text{ dan } 0.81$ ). Lubang plat orifice 20 mm, 22 mm, 26 mm dan diameter pipa 32 mm.
- 9) Pengujian orifice dan pengukuran tekanan pada 1D dan 1/2D pada setiap perubahan debit aliran yang dimaksudkan untuk menghitung harga koefisien aliran orifice.
- 10) Karakteristik pola tekanan pada orifice meter dengan melakukan tekanan pada sisi pusat plat orifice, posisi up stream dan down stream dengan pemasangan tapping pada jarak 1/2D hingga 6D adalah 1/2D untuk upstream dan 1/2 hingga 8D untuk down stream. Jarak antara tapping 1/2D hingga 8D untuk down stream untuk melihat juga bagaimana terjadi pemulihan tekanan atau recovery pressure.
- 11) Pengukuran tekanan statis pada tahapan 10 di sisi pusat plat orifice, posisi upstream dan downstream dimulai dengan aliran fluida cair dengan bilangan  $Re = 2523$  dan diperbesar menjadi  $Re = 2670, Re = 2862, Re = 3055, Re = 3248, \text{ dan } Re = 3440$
- 12) Selanjutnya, pengukuran tekanan statis dengan aliran dua fase seperti tahapan 12 yaitu setiap debit aliran cairan akan diinjeksikan udara dengan debit  $0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $0.13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , hal ini dilakukan untuk melihat pola-pola aliran yang akan terjadi.

### 3. PEMBAHASAN

#### A. Analisis Perhitungan

Untuk menghitung tekanan aliran digunakan persamaan:

$$P = \rho \cdot g \cdot h + P_0 \dots$$

Dengan:

$P$  = Pressure Aliran (Pa)

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$  = Percepatan Gravitasi ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$h$  = Ketinggian Fluida (m)

$P_0$  = Tekanan Atmosfir (Pa)

Sehingga didapatkan nilai tekanan pada debit dengan  $Re = 2532$  pada posisi pressure tap 14 cm daerah downstream dari pusat orifice dengan diameter orifice 20 mm adalah sebagai berikut :

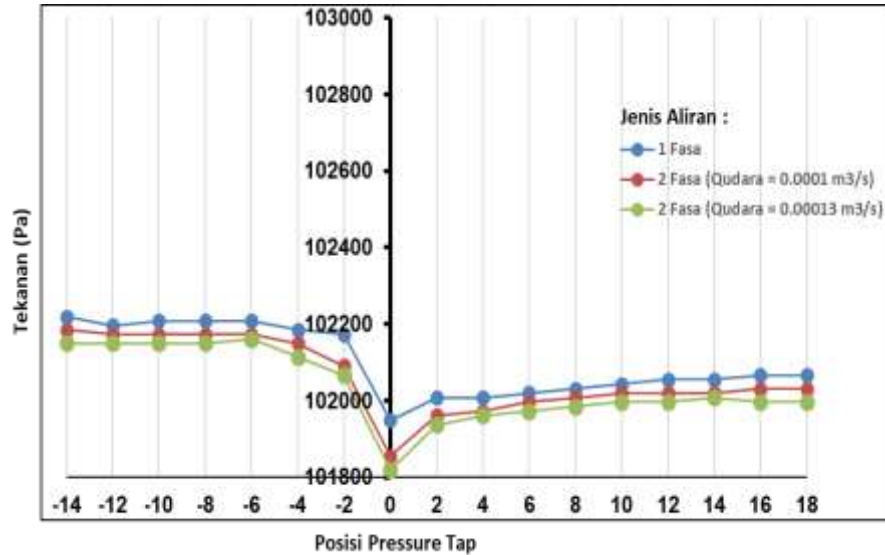
$$\begin{aligned}
 P &= \rho \cdot g \cdot h + P_0 \\
 &= 1200 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2 \cdot 0,062 \text{ m} + 101325 \text{ Pa} \\
 &= 102055 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama maka didapatkan perhitungan tekanan pada debit dengan  $Re = 2532$  pada diameter orifice 20 mm dapat dilihat di Tabel 1 dibawah ini.

**Tabel 1 Hasil perhitungan pada  $Re = 2523$  dan  $d = 20 \text{ mm}$**

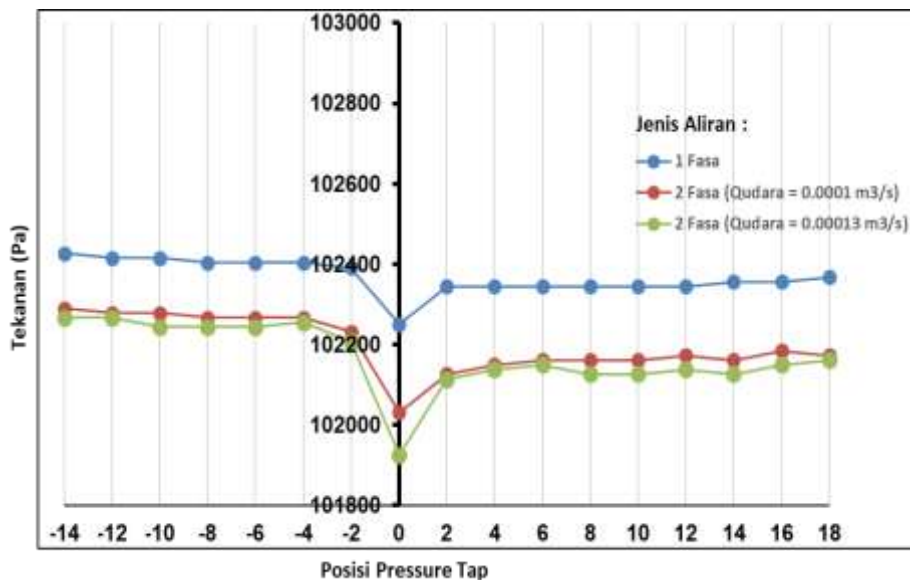
Posisi Pressure Tap	Tekanan <i>Upstream</i> (Pa)	Posisi Pressure Tap	Tekanan <i>Downstream</i> (Pa)
-14	102220	2	102008
-12	102196	4	102008
-10	102208	6	102020
-8	102208	8	102031
-6	102208	10	102043
-4	102184	12	102055
-2	102173	14	102055
0	101949	16	102067
		18	102067

**B. Perbandingan Distribusi Tekanan Aliran 1 fase dan 2 fase**



**Gambar 2 Perbandingan distribusi tekanan 1 fase dan 2 fase (Re =2523 d = 20 mm)**

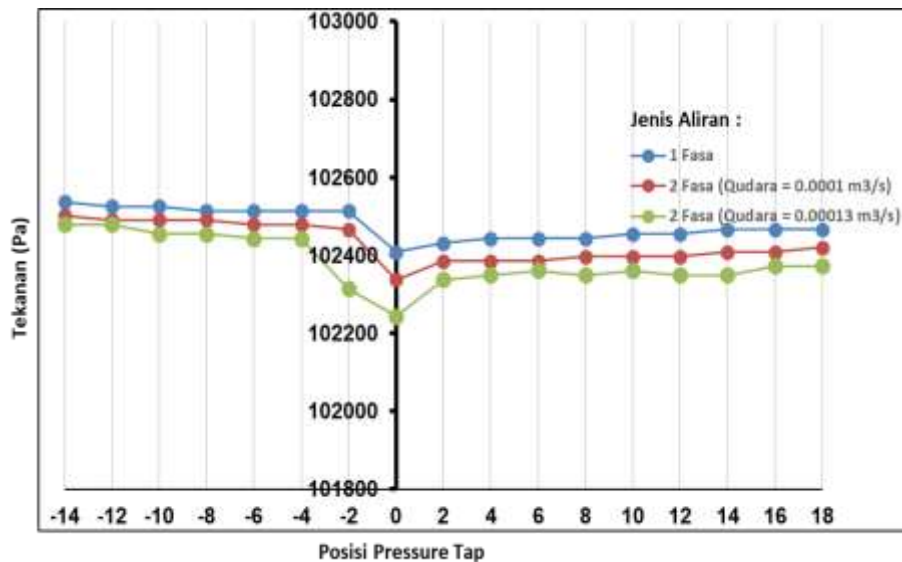
Grafik pada Gambar 2 diatas menunjukkan perbandingan distribusi tekanan untuk jenis aliran 1 fase dengan jenis aliran 2 fase. Untuk kedua jenis aliran tersebut berada pada bilangan Re = 2523 yang melewati diameter orifice 20 mm dan untuk 2 fase diinjeksikan udara dengan Qudara = 0.1 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s dan Qudara = 0.13 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s. Tekanan aliran fluida maksimal pada diameter 20 mm terjadi pada debit dengan jenis aliran 1 fase dengan posisi pressure tap terjauh dari titik pusat orifice yaitu 14 cm dan tekanan sebesar 102220 Pa pada daerah upstream. Apabila dibandingkan antara jenis aliran 1 fase dengan 2 fase maka tekanan aliran minimal yang terjadi pada diameter orifice 20 mm terjadi pada titik pusat orifice dengan jenis aliran 2 fase dengan tekanan sebesar 101819 Pa sedangkan pada jenis aliran 1 fase sebesar 101949 Pa.



**Gambar 3 Perbandingan distribusi tekanan 1 fase dan 2 fase (Re =2862 d = 20 mm)**

Grafik pada Gambar 3 menunjukkan perbandingan antara distribusi tekanan untuk jenis aliran 1 fase dengan jenis aliran 2 fase. Untuk kedua jenis aliran tersebut berada pada bilangan Re = 2862 yang melewati diameter orifice 22 mm pada kondisi Qudara = 0.1 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s dan Qudara = 0.13 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s. Tekanan aliran fluida maksimal pada diameter 22 mm terjadi pada debit dengan jenis aliran 1 fase dengan posisi pressure tap terjauh dari titik pusat orifice yaitu 14 cm dan tekanan sebesar 102427 Pa pada daerah upstream. Apabila dibandingkan antara jenis aliran 1 fase dengan jenis aliran 2 fase maka tekanan aliran minimal yang terjadi pada

diameter orifice 22 mm terjadi pada titik pusat orifice dengan jenis aliran 2 fase dengan tekanan sebesar 101925 Pa sedangkan pada jenis aliran 1 fase sebesar 102250 Pa.



**Gambar 4 Perbandingan distribusi tekanan 1 fase & 2 fase (Re =3440 d = 26 mm)**

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan perbandingan distribusi tekanan untuk jenis aliran 1 fase dengan jenis aliran 2 fase. Untuk kedua jenis aliran tersebut berada pada bilangan  $Re = 3440$  yang melewati diameter orifice 26 mm pada kondisi  $Q_{udara} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $Q_{udara} = 0.13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ . Tekanan aliran fluida maksimal pada diameter 26 mm terjadi pada debit dengan jenis aliran 1 fase dengan posisi pressure tap terjauh dari titik pusat orifice yaitu 14 cm dan tekanan sebesar 102538 Pa pada daerah upstream. Apabila dibandingkan antara jenis aliran 1 fase dengan jenis aliran 2 fase maka tekanan aliran minimal yang terjadi pada diameter orifice 26 mm terjadi pada titik pusat orifice dengan jenis aliran 2 fase dengan tekanan sebesar 102337 Pa sedangkan pada jenis aliran 1 fase sebesar 102408 Pa.

Dari Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 menunjukkan perbandingan distribusi tekanan 1 fase dan 2 fase yang melewati orifice dengan diameter 20 mm, 22 mm, dan 26 mm. Dari grafik perbandingan tersebut menunjukkan bahwa tekanan maksimal pada aliran 2 fase lebih kecil dibandingkan tekanan pada aliran 1 fase. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan injeksi udara  $Q_{udara} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $Q_{udara} = 0.13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  yang menyebabkan terbentuknya vortex paksa (forced vortex) pada fluida cair. Vortex paksa (forced vortex) terjadi jika proses pembentukan vortex melibatkan energi dari luar seperti penambahan injeksi udara. Vortex dapat berubah sesuai dengan nilai Bilangan Reynolds. Pada Bilangan Reynolds rendah, vortex berbentuk seperti tapal kuda, semakin tinggi Bilangan Reynolds yang dimiliki vortex, maka bentuk vortex semakin meruncing.

#### 4. PENUTUP

Hasil analisis dan pembahasan terkait penelitian, menunjukkan bahwa:

- a. Pola tekanan pada daerah upstream dan daerah downstream dengan aliran 1 fase menunjukkan semakin tinggi bilangan Reynolds yang melewati orifice maka semakin besar tekanan yang terjadi. Tekanan pada daerah upstream cenderung menurun menuju titik pusat orifice karena adanya peningkatan kecepatan aliran sedangkan tekanan pada daerah downstream cenderung meningkat meninggalkan titik pusat orifice.
- b. Perbandingan pola tekanan pada daerah upstream dan daerah downstream aliran 1 fase dengan 2 fase menunjukkan bahwa tekanan maksimal pada aliran 2 fase lebih kecil dibandingkan tekanan pada aliran 1 fase. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan injeksi udara yang menyebabkan terbentuknya vortex paksa (forced vortex) pada fluida cair. Vortex dapat berubah sesuai dengan nilai Bilangan Reynolds. Pada Bilangan Reynolds rendah, semakin besar vortex yang terjadi maka tekanan akan mengalami penurunan.

## 5. REFERENCES

- Ghurri, A., Tisna, S. P. G. G., & Syamsudin, S. (2016). Pengujian Orifice Flow Meter dengan Kapasitas Aliran Rendah. *MECHANICAL*, 7(2). <https://doi.org/10.23960/MECH.V7.I2.201610>
- Habiba, S., Salam, N., Tarakka, R., Jalaluddin, & Ihsan, M. (2021). Distribution of fluid flow pressure through tandem square cylinders with the addition of triangular cylinder as a disturbance object. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 841(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/841/1/012014>
- Jalaluddin, J., Akmal, S., ZA, N., & Ishak, I. (2019). ANALISA PROFIL ALIRAN FLUIDA CAIR DAN PRESSURE DROP PADA PIPA L MENGGUNAKAN METODE SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(1), 97–108. <https://doi.org/10.29103/JTKU.V8I1.3396>
- Mahmuddin. (2018). Studi Eksperimental Penurunan Tekanan Aliran Melewati Belokan Pipa Horizontal dengan Variasi Rasio R/D. *Teknik Mesin "TEKNOLOGI,"* 18(1 Apr), 45–52.
- Mahmuddin, Kamal, S., Indarto, & Purnomo. (2010a). Karakteristik Hidrodinamik dan Pola Aliran Pada Fenomena Flooding Dalam Pipa Vertikal. *JURNAL FLYWHEEL*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.36040/FLYWHEEL.V3I1.398>
- Mahmuddin, M., Kamal, S., Indarto, I., & Purnomo, P. (2010b). *Pola Aliran dan Korelasi Kecepatan Kritis Fenomena Flooding pada Saluran Vertikal.*
- Nur, M. I., Mahmuddin, & Sungkono. (2021). STUDI EFISIENSI ALAT DISTILASI BIOETANOL CAIRAN NIRA MENGGUNAKAN KACA PENUTUP BERSUSUN. *J-Move*, 44–51.
- Sukamta, S., S, B. B. M., Krisdiyanto, K., Janalto, O., & Priambodo, W. A. (2019). Kontur Tekanan dan Kecepatan Aliran Fluida Pada Pompa Hydraulic-Ram. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 3(1), 56–65. <https://doi.org/10.18196/JMPM.3138>
- Wibawanto, L. N., Santoso, B., & Juwana, W. E. (2016). Karakteristik aliran dua fase pada saluran ekspansi tiba-tiba. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 11(1), 7–12. <https://doi.org/10.36289/JTMI.V11I1.44>