

# Kajian Eksperimental Karakteristik Beda Tekanan Aliran Dua Fase Gas–Cair dengan Kemiringan Saluran Pipa Lurus

Mahmuddin<sup>1,2</sup>, Zulkifli Syamsuddin<sup>3\*</sup>, Muh. Syahrir Habiba<sup>4</sup>, Rustam Efendi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia

<sup>2</sup>Teknika, Politeknik Ilmu Pelayaran Makasar

<sup>3,4</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

<sup>5</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

E-mail: \*zulkifli23pip@gmail.com

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi debit dan sudut kemiringan pipa terhadap beda tekanan dan pola aliran dalam sistem aliran dua fase, khususnya pada aliran gas dan cair. Debit air divariasikan dalam kisaran  $0,00020 \text{ m}^3/\text{s}$  hingga  $0,00030 \text{ m}^3/\text{s}$ , sedangkan debit udara divariasikan dalam rentang  $0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$  hingga  $0,00040 \text{ m}^3/\text{s}$ . Variasi ini dilakukan pada tiga sudut kemiringan pipa terhadap horizontal, yaitu  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$ . Hasil penelitian mengungkapkan bahwa beda tekanan pada aliran udara meningkat sejalan dengan peningkatan laju aliran udara. Pada debit cairan yang dijaga konstan, peningkatan beda tekanan juga terjadi sejalan dengan pertambahan laju udara. Sebaliknya, pada variasi debit gas yang dijaga konstan, beda tekanan meningkat seiring dengan pertambahan laju aliran cairan. Variasi sudut kemiringan pipa juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan beda tekanan dalam sistem. Dalam hal pola aliran, pada sudut kemiringan  $30^\circ$ , ditemukan pola aliran yang meliputi gelembung dengan ukuran kecil dan besar, serta pola aliran berupa sumbat. Pada sudut kemiringan  $45^\circ$ , pola aliran melibatkan gelembung ukuran besar, sumbat, gelembung, dan sumbat dengan ukuran besar. Pada sudut kemiringan  $60^\circ$ , pola aliran mencakup aliran acak, gelembung ukuran sedang, sumbat, dan kembali ke pola aliran yang acak.

**Kata kunci:** aliran dua fase, beda tekanan, pola aliran, sudut kemiringan pipa

## Abstract

This study aims to analyze the effects of varying flow rates and pipe inclination angles on pressure differentials and flow patterns in a two-phase flow system, specifically focusing on the interaction between gas and liquid flows. Water flow rates were varied in the range of  $0.00020 \text{ m}^3/\text{s}$  to  $0.00030 \text{ m}^3/\text{s}$ , while air flow rates were varied between  $0.0007 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $0.00040 \text{ m}^3/\text{s}$ . These variations were carried out at three pipe inclination angles relative to the horizontal plane:  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , and  $60^\circ$ . The results revealed that the pressure differential in the air flow increased in proportion to the increase in air flow rate. Similarly, for constant liquid flow rates, the pressure differential increased alongside the increment in air flow rate. Conversely, in the case of constant gas flow rates, the pressure differential increased with the rise in liquid flow rate. Additionally, the variation in pipe inclination angle also played a role in influencing the increase in pressure differential within the system. In terms of flow patterns, at a  $30^\circ$  pipe inclination angle, the observed flow pattern encompassed small and large bubble flows, as well as a plug flow pattern. At a  $45^\circ$  inclination angle, the flow pattern included large bubble flows, plug flows, bubble flows, and large plug flows. At a  $60^\circ$  inclination angle, the flow pattern consisted of random flows, medium-sized bubble flows, plug flows, and a return to random flow patterns.

**Keywords:** two-phase flow, pressure differential, flow patterns, pipe inclination angle.

## 1. PENDAHULUAN

Dalam berbagai industri, seperti industri kimia, perpindahan fluida sering terjadi melalui sistem perpipaan. Dalam konteks ini, tidak hanya melibatkan pipa-pipa utama, tetapi juga berbagai komponen penting seperti belokan, siku, katup, perbesaran saluran, pengecilan saluran, dan gabungan saluran. Pada skala sistem perpipaan yang besar, kerugian yang terjadi akibat komponen-komponen ini umumnya hanya merupakan kerugian minor dibandingkan dengan kerugian utama yang dihasilkan dari gesekan sepanjang saluran. Namun, pada sistem perpipaan yang lebih kecil, kerugian yang disebabkan oleh komponen pipa bisa menjadi faktor utama yang mempengaruhi kerugian total di sepanjang jalur aliran. Istilah "aliran multiphase" mengacu pada aliran yang melibatkan beberapa fase yang mengalir secara bersamaan. Salah satu bentuk aliran multiphase adalah aliran dua fase, di mana dua jenis fluida yang berbeda mengalir bersama, seperti fluida cair dan gas atau fluida cair dengan partikel padat yang tersuspensi. Dalam aliran dua fase, kompleksitas muncul dari interaksi antar fase, perubahan bentuk permukaan, dan gerakan antar fluida. Studi tentang aliran dua fase memiliki berbagai penerapan dalam industri seperti pembangkit listrik nuklir, industri kimia, pembangkit uap, dan industri minyak dan gas. Penelitian tentang aliran dua fase dapat dibagi berdasarkan kombinasi fase (seperti gas-cair, cair-padat, dan padat-gas), arah aliran (searah atas, bawah, atau berlawanan), dan posisi saluran (horizontal, vertikal, atau miring). Fenomena aliran dua fase ini bisa terjadi dalam saluran dengan berbagai ukuran, mulai dari yang besar hingga mikro. Karakteristik fluida memiliki peranan besar dalam membentuk pola aliran. Fluida dengan viskositas tinggi cenderung membentuk pola aliran "core annular", sementara fluida dengan viskositas lebih rendah dapat membentuk pola seperti "three layer's flow", "stratified flow", dan "dispersed flow". Tekanan yang terjadi akan lebih tinggi ketika minyak beremulsi secara kontinu, tetapi tekanan akan menurun ketika fase air mulai terpisah dari minyak dan membentuk lapisan tersendiri. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memahami karakteristik aliran dua fase. Hidayat [1] melakukan eksperimen dengan memvariasikan laju aliran gas dan cairan pada sudut kemiringan tertentu untuk mengamati pola aliran dan gradien tekanan. Sukamta, et al. [2] memfokuskan pada fraksi void aliran dua fase udara-air dan gliserin. Mustakim, et al. [3] mengkaji pengurangan intensitas fluktuasi tekanan pada ekspansi mendadak aliran udara-air. Zainuddin, et al. [4] mengidentifikasi pola aliran dan beda tekanan melalui pipa belokan posisi vertikal. Mahmuddin [5] dan Jalaluddin, et al. [6] memeriksa karakteristik penurunan tekanan melalui belokan pipa dan karakteristik aliran melalui orifice. Dalam konteks ini, penelitian ini akan memeriksa karakteristik aliran dua fase menggunakan fluida gas dan cair pada sudut kemiringan yang berbeda. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan mengevaluasi bagaimana pola aliran dan perubahan tekanan dipengaruhi oleh variasi sudut kemiringan pipa saat gas dan cair mengalir bersamaan.

## 2. METODE PENELITIAN

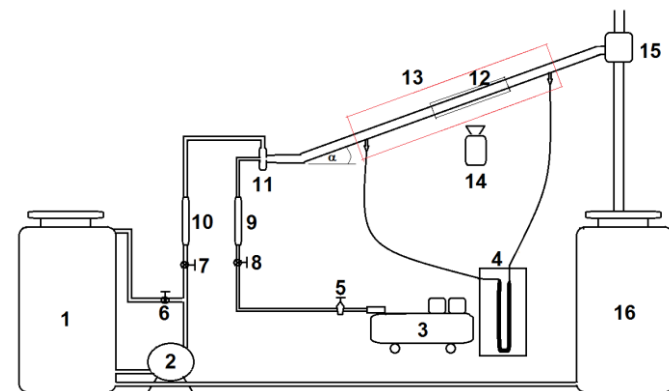
### 2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat di antaranya adalah tangka sebagai penampung air, pompa digunakan untuk sirkulasi cairan ke seksi uji, katup mengatur debit cairan ke seksi uji, termometer digunakan untuk mengukur suhu fluida, manometer beda tekanan aliran yang dipasang pada pipa uji, flowmeter digunakan untuk mengukur laju aliran debit, dan mixer mencampurkan udara dan cairan. Bahan yang digunakan adalah fluida cair dan gas (udara), pipa transparan berdiameter 32mm dan panjang 100mm. Perubahan sudut kemiringan pipa uji ( $\alpha$ ) yaitu  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$ .

### 2.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dalam penelitian ini dijalankan sesuai dengan urutan yang telah ditetapkan. Langkah awal melibatkan persiapan perangkat instalasi penelitian, seperti yang terlihat dalam Gambar 2. Kemudian, pipa uji dipasang dengan sudut kemiringan  $30^\circ$  sesuai

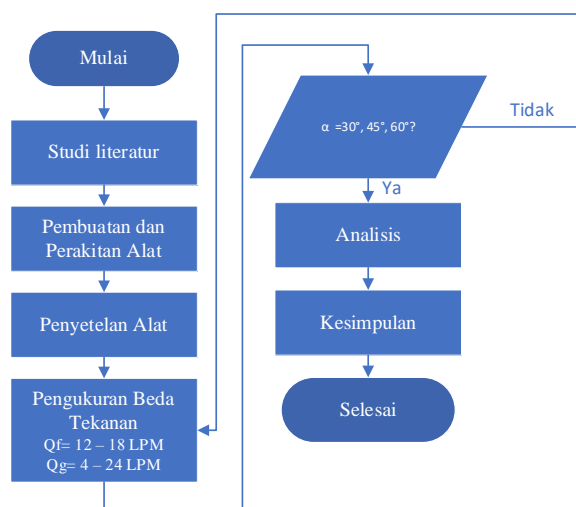
dengan perancangan. Tahap selanjutnya melibatkan penyaluran fluida cair ke dalam pipa uji dengan menghidupkan pompa. Debit aliran fluida kerja diukur menggunakan Flowmeter, dengan variasi debit awal dari 0,00020 m<sup>3</sup>/s hingga 0,00030 m<sup>3</sup>/s (atau setara dengan 12 LPM hingga 18 LPM). Untuk fluida gas, variasi debit aliran adalah antara 0,00007 m<sup>3</sup>/s hingga 0,00040 m<sup>3</sup>/s (atau setara dengan 4 LPM hingga 24 LPM). Dalam proses pengukuran, beda tekan pada pipa uji diukur menggunakan manometer. Sementara itu, pola aliran yang terbentuk sepanjang pipa uji direkam melalui kamera. Informasi mengenai temperatur fluida kerja diperoleh melalui termokopel. Langkah berikutnya adalah mengulangi proses pengukuran yang sama pada perubahan kemiringan pipa uji, yaitu pada sudut kemiringan  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ , dan  $\alpha = 60^\circ$ . Data hasil pengukuran ini dicatat dalam bentuk tabel pengamatan yang selanjutnya diolah dan dianalisis.



Gambar 2 Skema instalasi penelitian

Keterangan :

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. Tangki 1 air                             | 9. Flowmeter fluida gas   |
| 2. Pompa fluida cair                        | 10. Flowmeter fluida cair |
| 3. Kompresor fluida gas                     | 11. Mixer                 |
| 4. Manometer                                | 12. Pipa uji              |
| 5. Regulator fluida gas                     | 13. Kamera                |
| 6. Katup by pass fluida cair                | 14. Separator             |
| 7. Katup pengatur debit aliran fluida cair  | 15. Tangki 2 fluida cair  |
| 8. Katup pengatur debit aliran fluida udara |                           |

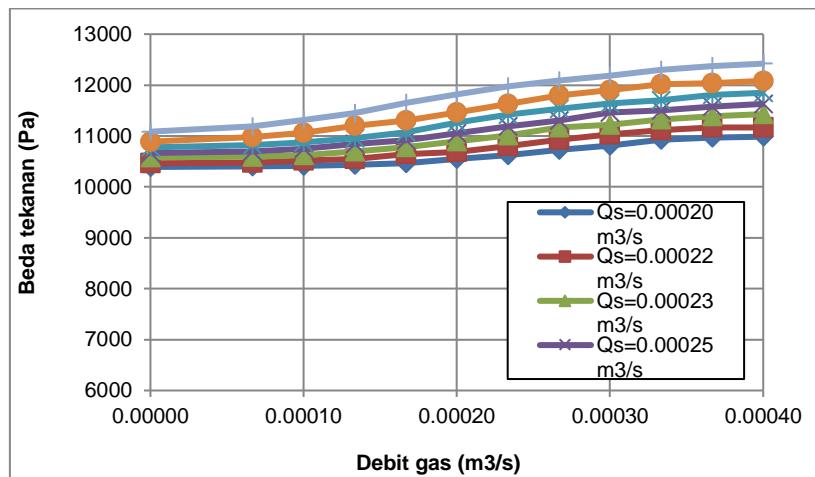


Gambar 2 Bagan alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Beda Tekanan Debit Solar Konstan

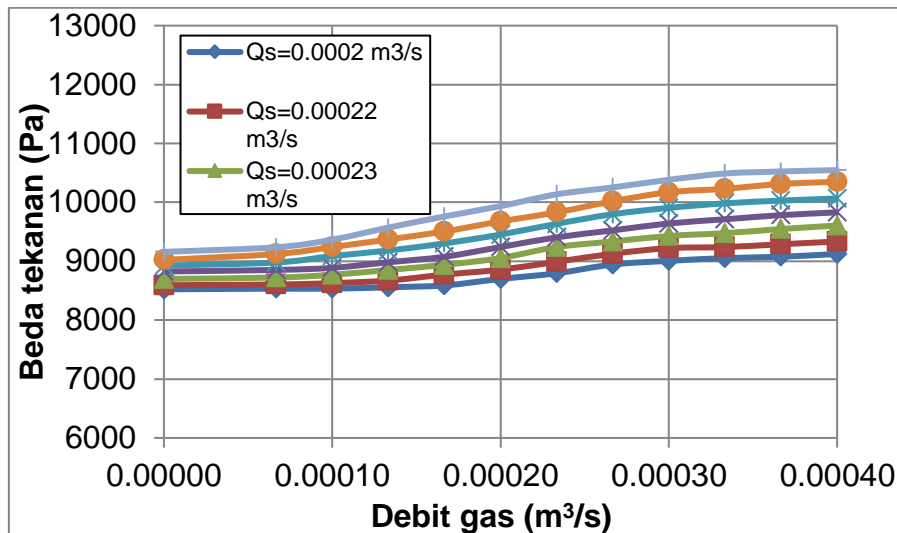
Analisis pada penelitian ini mengindikasikan bahwa terdapat peningkatan yang sebanding antara beda tekanan dan kecepatan udara pada laju aliran volumetrik cairan yang dijaga konstan (Gambar 3, 4, dan 5). Hal ini menggambarkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara yang mengalir, semakin signifikan pula peningkatan beda tekanan yang terjadi. Dengan kata lain, perubahan dalam kecepatan udara memiliki dampak langsung pada peningkatan beda tekanan dalam sistem aliran fluida tersebut.



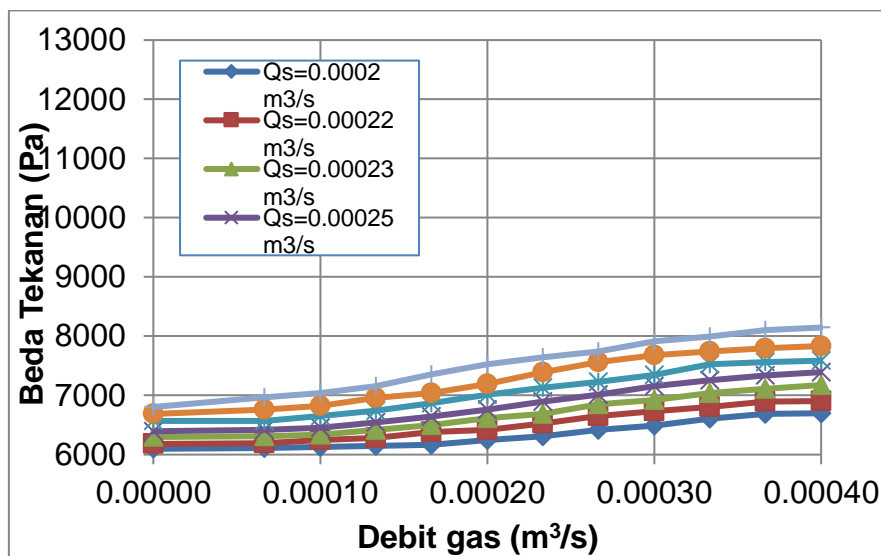
Gambar 3 Kurva beda tekanan pada kemiringan pipa 60°

Pada penelitian ini, fokus diberikan pada pengaruh kecepatan udara terhadap antarmuka aliran, yang pada gilirannya mempengaruhi energi kinetik dalam aliran air. Kenaikan kecepatan aliran mengakibatkan peningkatan energi kinetik aliran air, yang secara langsung berdampak pada peningkatan kecepatan aliran secara keseluruhan. Selain itu, ketika volumetrik aliran cairan meningkat, konsekuensinya adalah kenaikan kecepatan aliran baik pada cairan maupun udara yang alir bersamaan. Akibatnya, terjadi peningkatan perbedaan tekanan antara keduanya saat kenaikan volumetrik aliran terjadi. Dalam konteks ini, fenomena ini dapat dijelaskan dengan merujuk pada Prinsip Bernoulli, yang merupakan konsep mendasar dalam aliran fluida. Prinsip ini mengindikasikan bahwa kenaikan kecepatan dalam aliran fluida akan berkorelasi dengan penurunan tekanan dalam aliran tersebut. Dalam hal ini, peningkatan kecepatan aliran membawa pada penurunan tekanan, dan secara lebih luas, menggambarkan penurunan energi potensial dalam aliran fluida. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Mustakim, et al. [3], memberikan pandangan yang sejalan dengan temuan ini. Dalam penelitian tersebut, variasi debit air dan aliran udara diinvestigasi pada berbagai kondisi. Temuan menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran massa total, maka semakin signifikan pula penurunan tekanan yang terjadi. Konsep ini juga dapat diterapkan pada aliran fluida yang dapat diompresi (fluida termampatkan) dan yang tidak dapat diompresi (fluida tak-termampatkan). Sementara itu, dalam aspek praktis, perubahan tekanan akibat gesekan dalam aliran fluida memiliki dampak yang tidak dapat diabaikan. Ketika fluida mengalir melalui pipa, kerugian head selalu terjadi akibat gesekan antara fluida dan permukaan dalam pipa, serta akibat perubahan kecepatan aliran. Kehilangan tekanan ini dapat diantisipasi melalui penggunaan Persamaan Darcy-Weisbach, yang menggambarkan hubungan kompleks antara kerugian tekanan dan faktor-faktor seperti karakteristik pipa, laju aliran, dan viskositas fluida. Secara keseluruhan, pemahaman akan pengaruh kecepatan udara terhadap aliran fluida, baik cairan maupun gas, serta implikasinya terhadap perubahan tekanan dan energi aliran, menjadi prinsip penting dalam ilmu mekanika fluida. Dalam kaitannya dengan aplikasi teknis,

pengetahuan mengenai kerugian tekanan dan bagaimana mengatasi hal tersebut sangatlah esensial dalam merancang dan mengelola sistem aliran fluida yang efisien.



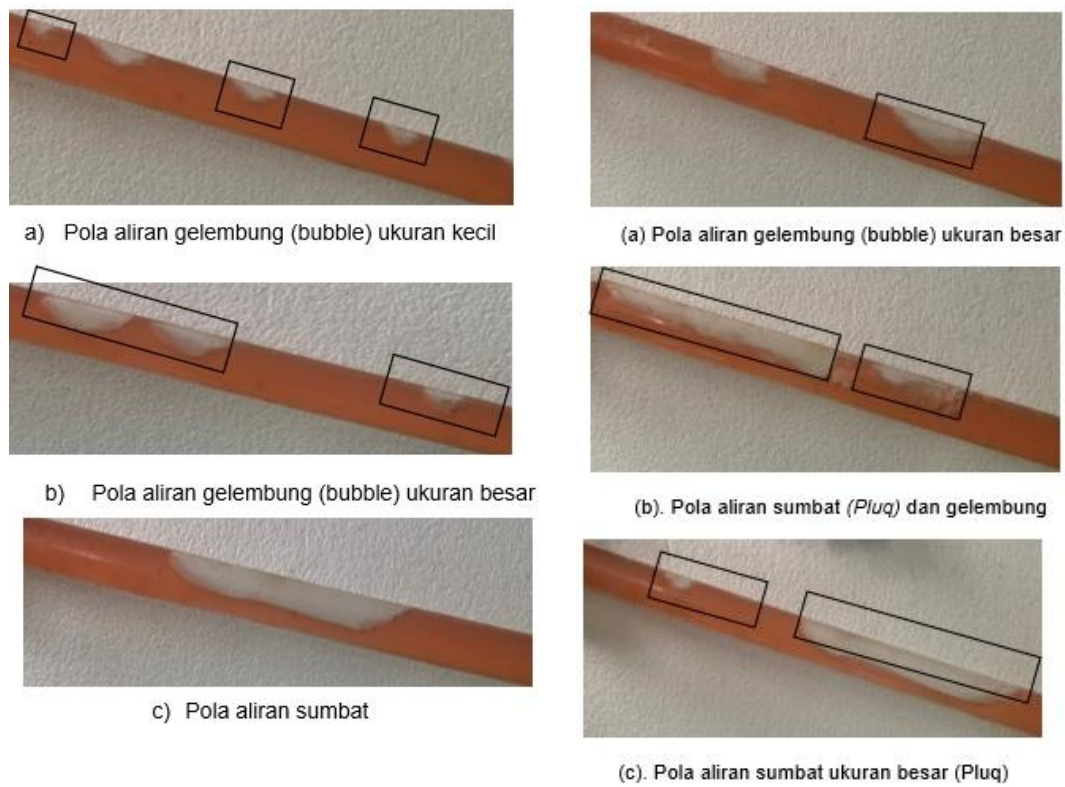
Gambar 4 Kurva beda tekanan pada kemiringan pipa 45°



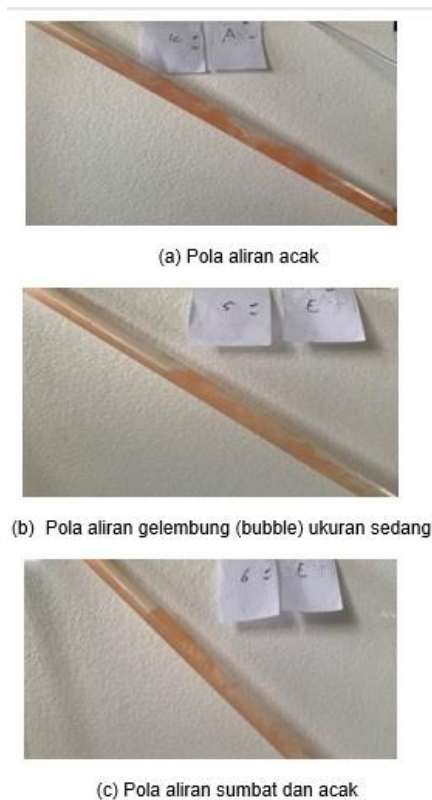
Gambar 5 Kurva beda tekanan pada kemiringan pipa 30°

### 3.2 Pola Aliran

Pada penelitian ini, berbagai pola aliran diamati dalam sistem. Pola-pola ini termasuk pola aliran gelembung dengan ukuran kecil dan besar, pola acak, serta pola aliran plug. Pola-pola ini dijelaskan secara visual dalam Gambar 6, 7 dan 8. Namun, pola aliran transisi tidak terdeteksi pada sudut kemiringan saluran 30° dan 45°.



Gambar 6 Pola aliran pasa kemiringan saluran 30°      Gambar 7 Pola aliran pasa kemiringan saluran 45°



Gambar 8 Pola aliran pasa kemiringan saluran 60°

Pola aliran yang terbentuk ini kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan temuan dari penelitian sebelumnya. Sebagai contoh, Hidayat [1] telah melakukan eksperimen tentang karakteristik aliran dua fase udara-akuades campuran butanol 3% dalam pipa dengan sudut kemiringan  $40^\circ$ . Dalam penelitian mereka, metode visualisasi dengan program MOV to AVI digunakan, sementara digital image processing dengan program MATLAB R2014a diterapkan untuk mengamati fraksi hampa. Pengukuran gradien tekanan menggunakan sensor tekanan fluida MPX system yang dihubungkan ke komputer. Dalam hasil penelitian mereka, berbagai pola aliran diamati, termasuk bubble, plug, slug, annular, dan churn. Sebagai tambahan, penelitian yang dilakukan oleh Sukamta, et al. [2] juga relevan dengan konteks ini. Dalam penelitian mereka mengenai fraksi void aliran dua fase udara-air dan gliserin (0-30%) dalam pipa kapiler dengan kemiringan  $50^\circ$  hingga posisi horizontal, ditemukan pola aliran bubbly dan plug. Hasil-hasil dari penelitian sebelumnya ini memberikan dasar penting untuk menginterpretasikan dan membandingkan pola aliran yang ditemukan dalam penelitian ini. Hal ini mendukung pemahaman lebih lanjut mengenai dinamika aliran dua fase dalam berbagai kondisi eksperimental.

#### 4. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting:

1. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan debit air pada kisaran 0,00020 m<sup>3</sup>/s hingga 0,00030 m<sup>3</sup>/s, serta debit udara dalam rentang 0,0007 m<sup>3</sup>/s hingga 0,00040 m<sup>3</sup>/s. Variasi ini dilakukan pada tiga sudut kemiringan pipa terhadap horizontal, yaitu  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$ . Hasil penelitian mengungkapkan bahwa beda tekanan pada aliran udara meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran udara, sementara pada debit cairan yang dijaga konstan, peningkatan beda tekanan juga terjadi seiring dengan penambahan laju udara. Sebaliknya, pada variasi debit gas yang dijaga konstan, beda tekanan meningkat seiring dengan penambahan laju aliran cairan. Selain itu, variasi sudut kemiringan pipa juga memengaruhi peningkatan beda tekanan dalam sistem.
2. Dalam hal pola aliran, pada sudut kemiringan  $30^\circ$ , teramati pola aliran gelembung dengan ukuran kecil dan besar, serta pola sumbat. Pada kemiringan  $45^\circ$ , pola aliran terdiri dari gelembung ukuran besar, sumbat, gelembung, dan sumbat ukuran besar. Pada kemiringan  $60^\circ$ , pola aliran mencakup aliran acak, gelembung ukuran sedang, sumbat, dan aliran acak kembali.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. D. Hidayat, "Kajian Eksperimental Karakteristik Aliran Dua Fase Udara-Akuades Campuran Butanol 3% Pada Saluran Kecil Posisi Kemiringan  $40^\circ$ ," Sarjana Skripsi, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, 2020.
- [2] S. Sukamta, A. R. Ilham, and S. Sudarja, "The Investigation of Void Fraction of Two-Phase Flow Air-Water And Glycerine (0-30%) in The Capillary Pipe with Slope of 50 to Horizontal Position," *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, vol. 20, no. 1, pp. 8-17, 2019.
- [3] M. Mustakim, I. Indarto, and P. Purnomo, "Pengurangan intensitas fluktuasi tekanan pada pembesaran mendadak aliran udara-air searah horisontal dengan penempatan ring," *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 22-29, 2016.
- [4] M. Zainuddin, S. Habiba, and Mahmuddin, "Studi Aliran Dua Fase Gas dan Cair Pada Belokan Pipa  $90^\circ$ ," *Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur dan Sains*, vol. 1, no. 12, pp. 1-9, 2022.
- [5] Mahmuddin, "Studi Eksperimental Penurunan Tekanan Aliran Melewati Belokan Pipa Horizontal dengan Variasi Rasio R/D," *Jurnal Teknologi*, vol. 18, no. 1, 2018.
- [6] J. Jalaluddin, S. Akmal, Z. Nasrul, and I. Ishak, "Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 8, no. 1, pp. 97-108, 2019.