

---

# Karakteristik Pola Aliran Air-Udara, Campuran Air+Gliserin (G20)-Udara, dan Campuran Akuades+Butanol 4%-Udara Pada Pipa Horizontal Berukuran Mini

Farid Jayadi\*<sup>1</sup>, Sudarja<sup>2</sup>, Eli Kumolosari<sup>3</sup>, Dian Indra Siregar<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S2, <sup>2</sup>Program Studi S3, <sup>4</sup>Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Indonesia

\*<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Jl. Alue Peunyareng, Gunong Kleng, Kec. Meureubo, Kabupaten Aceh Barat, Aceh 23681, Indonesia

e-mail: \*<sup>1</sup>[faridjayadi@utu.ac.id](mailto:faridjayadi@utu.ac.id), <sup>2</sup>[sudarja\\_msn@yahoo.com](mailto:sudarja_msn@yahoo.com), <sup>3</sup>[eli.kumolosari@mail.ugm.ac.id](mailto:eli.kumolosari@mail.ugm.ac.id)

## Abstrak

*Penelitian Eksperimental pola aliran dua fasa, fasa gas dan cairan pada pipa mini-horizontal ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh perubahan viskositas cairan yang berbeda didalam aliran dua fasa. Bagian observasi adalah pipa kaca berdiameter 1,6 mm horizontal. Kecepatan Superfisial gas dan cairan adalah 0,033-4,935 m/s dan 0,025-66,3 m/s. Fluida kerja cair yang digunakan adalah air, campuran air+gliserin (G20), dan campuran akuades+butanol 4% masing-masing tegangan permukaannya sebesar 71 mN/m, 62,5 mN/m, 36,50 mN/m, sedangkan fluida kerja gas adalah udara yang berasal dari kompressor. Data pola aliran diperoleh dengan menganalisis video gambar yang ditangkap dengan menggunakan kamera berkecepatan tinggi. Hasil yang didapatkan pada pola aliran yang diamati pada penelitian ini adalah bubbly, plug, slug-annular, annular, dan churn, sedangkan aliran stratified tidak muncul. Dalam peta pola aliran, perubahan viskositas cairan mempengaruhi pergeseran garis transisi antara pola aliran, khususnya aliran slug-annular ke annular dan slug-annular dan aliran annular ke churn.*

**Kata Kunci:** aliran dua fasa, mini channel, kecepatan superfisial, pola aliran, peta pola aliran

## Abstract

*Experimental research on the flow pattern of two phases, gas and liquid phases in a mini-horizontal pipe aims to obtain the effect of changes in the viscosity of different liquids in two-phase flow. The observation section is a glass pipe with a diameter of 1.6 mm horizontally. Superficial velocities of gases and liquids are 0.033-4.935 m/s and 0.025-66.3 m/s. The liquid working fluid used is water, a mixture of water+glycerin (g20), and a mixture of 4% distilled water+butanol, each having a surface tension of 71 mN/m, 62.5 mN/m, 36.50 mN/m, while the fluid Working gas is air coming from the compressor. The flow pattern data is obtained by analyzing the video images captured using a high-speed camera. The results obtained in the flow patterns observed in this study were bubbly, plug, slug-annular, annular, and churn, while stratified flow did not appear. In flow pattern maps, changes in fluid viscosity affect the shift of transition lines between flow patterns, in particular slug-annular to annular and slug-annular flows and annular to churn flows.*

**Keywords:** two-phase flow, mini-pipe, superficial velocity, flow pattern, Flow Pattern Map

## 1. PENDAHULUAN

Penerapan aliran dua fase dalam pipa mini sangat luas, seperti di bidang pendinginan modul multi-chip kepadatan tinggi di superkomputer, sinar-X bertenaga tinggi dan perangkat diagnostik lainnya, panas fluks tinggi penukar dalam sistem ruang angkasa, dan sistem

---

pendingin cryogenic di satelit [1]. Sedangkan Kawahara et al. [2] menjelaskan bahwa penggunaan saluran-saluran tersebut ada di sirkuit mikroelektronik, aplikasi bioengineering, aerospace dan pipa panas mikro. Selanjutnya, Tsaoulidis et al. [3] menyatakan bahwa itu dapat ditemukan di pembangkit listrik mikro, dan sel bahan bakar. Parameter aliran dua fasa pada saluran ukuran kecil adalah pola aliran, fraksi hampa, dan gradien tekanan. Penelitian tentang pola aliran pada saluran ukuran kecil telah dilakukan antara lain oleh Barajas dan Panton [4], Triplett et al. [5], Hasan dkk. [6], Lee dan Lee [7], Saidi et al. [8], Chung dan Kawaji [9], dan Saisorn & Wongwises [10].

Channel classification scheme.

Conventional channels	$> 3 \text{ mm}$
Minichannels	$3 \text{ mm} \geq D > 200 \mu\text{m}$
Microchannels	$200 \mu\text{m} \geq D > 10 \mu\text{m}$
Transitional Microchannels	$10 \mu\text{m} \geq D > 1 \mu\text{m}$
Transitional Nanochannels	$1 \mu\text{m} \geq D > 0.1 \mu\text{m}$
Nanochannels	$0.1 \mu\text{m} \geq D$

Gambar 1. Sekema klasifikasi channel dari [11]



Gambar 2. Compact Heat Exchanger (dari GEA)

Gambar 1 dari penelitian Kandiklar [11] membagi ukuran saluran menjadi 5 jenis, yaitu: saluran konvensional, saluran mini, saluran mikro, saluran transisi, dan saluran nano (*molecular nanochannels*).

Pengaruh viskositas cairan terhadap parameter aliran dua fasa telah dipelajari sebelumnya antara lain oleh Fukano dan Furukawa [12], Furukawa dan Fukano [13], Mc Neil dan Stuart [14], Sowinski dan Dziubinski [15], Matsubara dan Naito [16], dan Zhao et al. [17], Sadatomi dkk. [18]. Fukano dan Furukawa [12] melakukan penelitian aliran dua fasa yang menggunakan air dan larutan gliserol ( $Q = 0,85 \cdot 10^{-6}$  sampai dengan  $8,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ) untuk aliran annular pada pipa vertikal berdiameter dalam 26 mm. Mereka menyimpulkan bahwa peningkatan viskositas cairan menyebabkan peningkatan faktor gesekan antarmuka pada bilangan Reynolds fasa gas yang sama. Furukawa dan Fukano [12] juga menyatakan bahwa viskositas cairan berpengaruh secara signifikan terhadap struktur lapisan cairan di sekitar gelembung besar dalam aliran slug. Dalam hal peta pola aliran, peningkatan viskositas cairan cenderung menggeser garis transisi aliran buih ke buih-annular menuju kecepatan superfisial gas yang lebih besar.

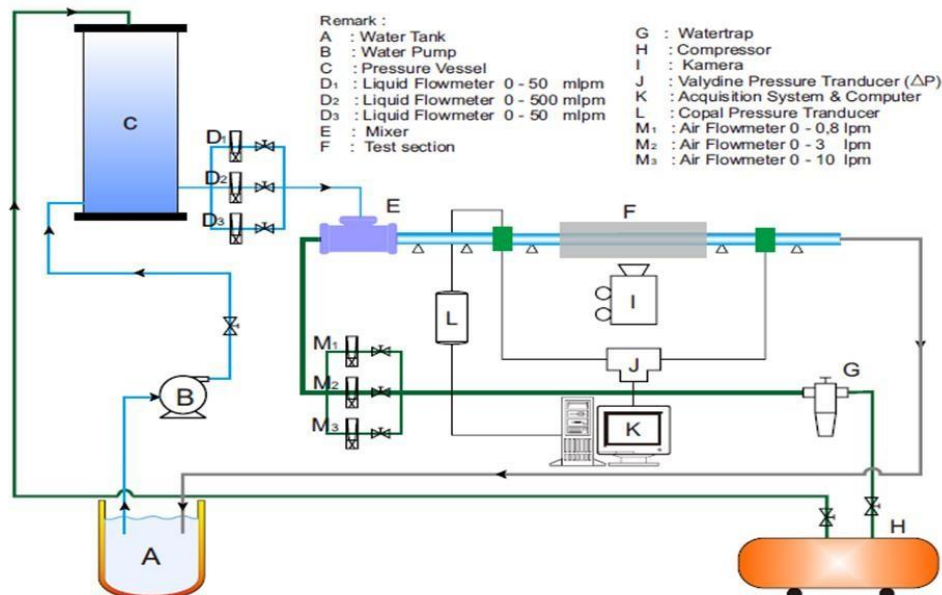
Mc Neil dan Stuart [14] memperkuat pernyataan Fukano dan Furukawa [12] Mereka juga menyatakan bahwa faktor gesekan antarmuka dalam cairan viskositas tinggi berbeda secara signifikan dengan cairan viskositas rendah. Sowinski dan Dziubinski [15] melakukan penelitian tentang pengaruh viskositas cairan terhadap fraksi hampa aliran dua fasa pada saluran kecil. Cairan yang digunakan dalam percobaan adalah air dan larutan sakarosa. Akibatnya, peningkatan viskositas cairan menyebabkan penurunan fraksi rongga gas, selain itu, peningkatan yang signifikan dari kecepatan aliran fase gas rata-rata. Matsubara dan Naito [16] melakukan penelitian yang menggunakan gas (udara) dan cairan (larutan air dan polisakarida). Mereka menjelaskan bahwa ketika viskositas cairan lebih tinggi dari 100 mPas, berpengaruh signifikan terhadap pola aliran. Zhao dkk. [17] menyatakan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara karakteristik aliran minyak viskositas tinggi gas dua fase dengan aliran cairan viskositas rendah gas. Pola aliran mereka dibandingkan dengan peta pola aliran dari Beggs dan Brill [18], dan mereka menyimpulkan bahwa model Beggs dan Brill memberikan prediksi yang dapat diterima ketika viskositas cairan adalah 1000 cP hingga 3500 cP, tetapi menjadi tidak sesuai ketika viskositas cairan adalah 5000 cP menjadi 7500 cP. Sadatomi dkk. [17] melakukan penelitian aliran dua fase gas-cair pada pipa horizontal berdiameter dalam 3, 5, dan 9 mm menggunakan empat jenis cairan, yaitu air ledeng, larutan poli-oksi-etilen lauril, larutan nonionik-polimerfluorinat FC4430, dan hidrofluoroeter murni 7200, sedangkan gasnya adalah udara atmosfer. Mereka melaporkan bahwa sifat cair berpengaruh signifikan terhadap garis transisi pola aliran, terutama transisi dari bubbly ke slug.

Hal ini juga berpengaruh terhadap gaya gesek antar muka dan fraksi void, terutama untuk aliran bubbly dan slug pada  $J_L=2\text{m/s}$ . Selama ini publikasi mengenai aliran dua fasa pada saluran ukuran kecil relatif sedikit dibandingkan dengan saluran konvensional. Meskipun demikian, semua penelitian yang dipublikasikan mengenai pengaruh viskositas cairan terhadap karakteristik aliran dilakukan di saluran konvensional, tidak ada yang dilakukan di saluran mini atau mikro. Oleh karena itu, studi eksperimental tentang pengaruh viskositas cairan terhadap pola aliran gas-cair dua fase di saluran mini sangat penting untuk dilakukan.

## 2. METODE PENELITIAN

Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah gas dan cairan. Fase gas adalah udara kering yang bersumber dari kompresor yang dilengkapi dengan water trap dan pengering. Sedangkan fluida cairannya adalah air, larutan air+gliserin G20, dan larutan akuades+butanol 4% yang masing masing memiliki tegangan permukaan ( $\sigma$ ) sebesar 71 mN/m, 62,5 mN/m dan 36,5 mN/m. Cairan dialirkan ke bagian uji dengan cara mengalirkan fluida cair ke bejana tekan sebagai pompa pneumatik. Benda uji berupa pipa kaca berbentuk lingkaran dengan diameter dalam 1,6 mm, dengan panjang 400 mm (untuk W) dan 130 mm (untuk G20, dan larutan aquades dan butanol). Bagian uji dilengkapi dengan kotak koreksi optik untuk menghilangkan efek kurva permukaan pipa. Mixer adalah ruang pencampuran dengan dua saluran masuk (saling tegak lurus) dan satu saluran keluar.

Data pola aliran dikumpulkan menggunakan kamera Nikon J4 dengan kecepatan 1200 fps. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Penelitian dilakukan pada kecepatan superficial gas ( $J_G$ ) 0,033 – 4,935 m/s, dan kecepatan superficial cairan ( $J_L$ ) = 0,025 – 66,3 m/s.



Gambar 3. Diagram skema peralatan pengujian

---

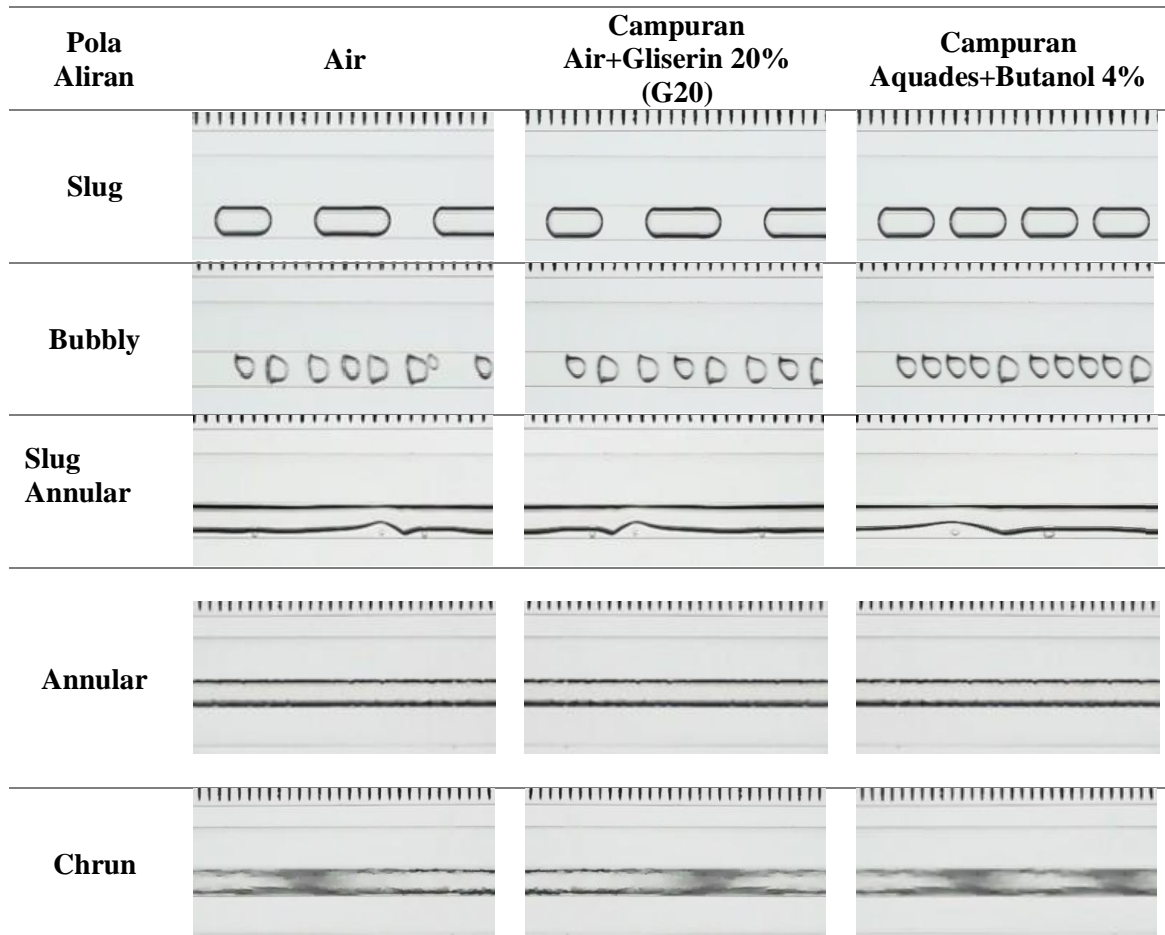
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola aliran yang diamati pada penelitian ini adalah bubbly, slug, slug-annular, annular, dan churn. Aliran terpisah atau bertingkat tidak muncul karena dominasi gaya tegangan permukaan terhadap gaya gravitasi. Kondisi ini lazim terjadi pada aliran dua fasa pada saluran berukuran kecil, seperti yang juga dilaporkan sebelumnya oleh Triplett, et al. [5], Chung dan Kawaji [9], dan Saisorn & Wongwises [10]. Peta pola aliran penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Pada kecepatan superfisial yang rendah dari gas dan cairan, terbentuk aliran (*a*) slug terdiri dari cairan slug dan gas plug (gelembung memanjang), yang mengalir secara berselang-seling. Aliran ini sering disebut aliran sumbat karena terjadi pada  $J_G$  dan  $J_L$  rendah, dan pada  $J_G$  sedang dengan  $J_L$  rendah hingga tinggi. Diameter steker sama atau sedikit lebih kecil dari diameter saluran. Panjang sumbat gas tergantung pada  $J_G$ . Di sini, semakin tinggi  $J_G$ , semakin panjang sumbatan gas. Ketergantungan panjang sumbatan gas pada  $J_G$  juga dilaporkan oleh Fukano dan Kariyasaki [20]), dan Saisorn & Wongwises [10]. Sejalan dengan mereka, Triplett et al. (1999) secara eksplisit melaporkan bahwa perubahan parameter (meningkatkan  $J_G$  atau menurunkan  $J_L$ ) menyebabkan fraksi rongga yang lebih tinggi dan menyiratkan sumbat udara yang lebih panjang atau slug cair yang lebih pendek. Aliran (*b*) bubbly Aliran bubbly terjadi pada  $J_G$  sangat rendah sedang hingga  $J_L$  tinggi. Aliran ini ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung gas dengan diameter sama atau lebih kecil dari diameter pipa bagian dalam. Untuk semua jenis cairan, kenaikan  $J_L$  pada  $J_G$  menyebabkan ukuran gelembung menjadi lebih kecil dan/atau lebih renggang. Hal ini karena kenaikan  $J_L$  berarti penurunan fraksi hampa yang homogen. Selain itu, pada  $J_L$  tinggi tertentu, aliran bubbly disertai dengan gelembung yang tersebar, kecuali pada campuran aquades dan butanol 4%. Untuk campuran aquades dan butanol 4%, gaya viskos lebih dominan untuk mengatasi gaya inersia dan turbulensi cairan. Selain itu, gelembung yang diamati juga terlihat lebih halus dan cenderung membulat ditunjukkan pada gambar 4. Aliran (*c*) slug-annular ketika  $J_G$  dinaikkan (misalnya menjadi 4,238 m/s) pada  $J_L$  konstan (misalnya menjadi 0,033 m/s), jembatan air yang memisahkan antar busi didorong dan ditembus oleh aliran udara. Aliran udara membentuk inti gas, sedangkan aliran air pada dinding pipa. Keduanya mengalir bersama dalam bentuk cincin cair. Di beberapa titik, cincin cairan lebih tebal daripada di titik lain dan membentuk leher cairan. Fraksi kosong dari leher cairan berkurang secara signifikan. Aliran tersebut kemudian disebut sebagai aliran slug-annular. Aliran slug-annular merupakan aliran transisi antara plug ke aliran annular. (*d*) churn. Aliran churn dicirikan oleh munculnya bentuk aliran yang tidak teratur yang disebabkan oleh gangguan pada sebagian aliran, atau kadang-kadang di sepanjang aliran. Aliran churn terjadi pada tinggi  $J_G$  dan  $J_L$ . Mishima dan Hibiki [23], Triplett dkk. [5], Zhao dan Bi[1], Chen dkk. [24], dan Pehlivan et al. [25] juga mengamati aliran churn sebelumnya. Pada  $J_G$  dan  $J_L$  tinggi, gas dan cairan bercampur dan mengalir bersama secara tidak teratur sebagai aliran turbulen dengan energi kinetik tinggi. Kondisi ini menyebabkan fraksi rongga aliran churn juga tidak teratur dan berfluktuasi dengan cepat dengan perubahan yang ekstrim. (*e*) annular. Dalam aliran annular, gas mengalir melalui pusat pipa sebagai inti gas, sedangkan cairan mengalir di permukaan pipa sebagai film cair. Film cair yang diamati dalam karya ini bergelombang, mirip dengan yang diperoleh oleh Triplett et al. [5]. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan kecepatan antara gas dengan cairan (slip). Peningkatan viskositas cairan cenderung menurunkan frekuensi. Hal ini berarti alirannya lebih lancar. Viskositas yang tinggi menyebabkan kondisi fluktuasi gelombang

---

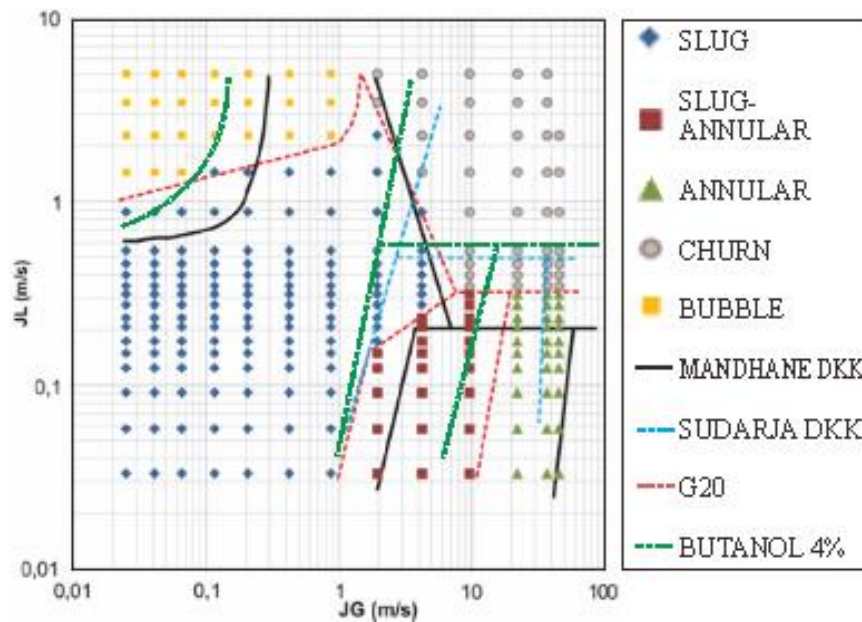
pada antarmuka. Peta pola aliran yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan hasil peta pola aliran milik [2,5,20,21,22] untuk mengetahui perubahan garis transisi pola aliran pada pipa dengan diameter yang berbeda-beda. Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada peta pola aliran dengan pola aliran pada pipa konvensional.



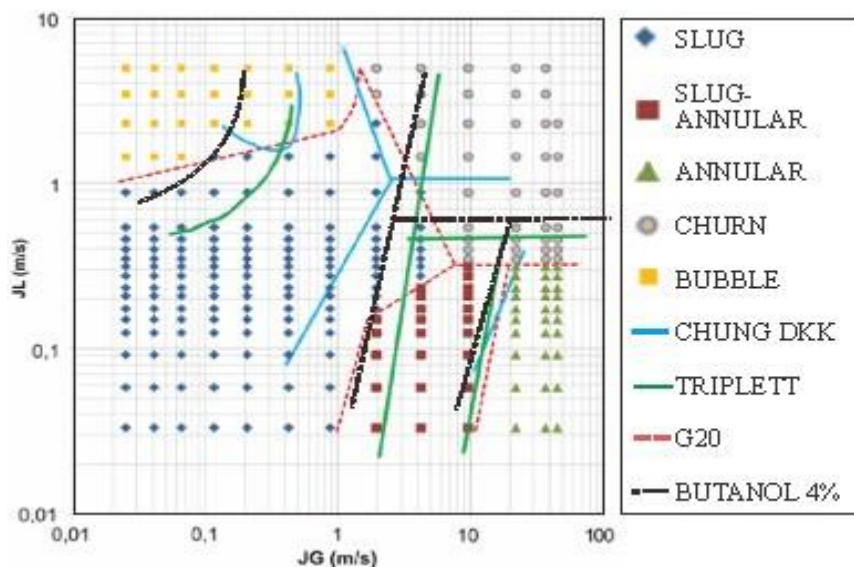
Gambar 4. Pola aliran yang terobservasi

Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa peningkatan viskositas cairan berimplikasi pada pergeseran garis transisi. Garis transisi bergelembung ke plug bergeser ke sisi kanan dan sedikit ke bawah. Hal ini berarti bahwa peningkatan viskositas cairan berpengaruh terhadap semakin luasnya daerah aliran bubbly. Dengan kata lain, untuk viskositas cairan yang lebih tinggi, aliran gelembung lebih mudah terbentuk. Sebagai gambaran, pada  $J_G=0.066$  m/s dan  $J_L=0.539$  m/s pola aliran yang teramati masih plug untuk air. Demikian juga pada  $J_L=0.207$  m/s dan  $J_G=0.3$  m/s, pola alirannya plug untuk air, sedangkan untuk larutan akuades+butanol 4% pola alirannya bergelembung, bahkan hingga  $J_G=0,879$  m/s pola alirannya masih bergelembung. Hal ini disebabkan karena untuk aliran dua fasa dengan kekentalan cairan yang lebih tinggi (gaya viskositas cairan yang lebih tinggi), gelembung gas yang sangat besar di dalam mixer sulit untuk menahan gelembung besar maupun bentuk sumbat, tetapi cenderung untuk membubarkan dan membentuk gelembung kecil, dan pola aliran bergelembung diamati.





Gambar 5. Perbandingan garis transisi pola aliran dengan peta pola aliran [20,21,22]



Gambar 6. Perbandingan garis transisi pola aliran dengan peta pola aliran [2,5,20,21,22]

Perubahan viskositas cairan tidak berpengaruh signifikan terhadap transisi batas aliran plug to churn maupun slug ke slug-annular. Namun, itu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap transisi garis transisi aliran slug-annular ke annular. Garis bergeser ke arah  $J_G$  yang lebih rendah ketika viskositas cairan meningkat. Kondisi ini disebabkan oleh aliran fluida dengan viskositas cair yang lebih tinggi serta densitasnya, gaya viskos dan inersia yang lebih tinggi, sehingga leher cairan aliran slug-annular menjadi riak kecil dan alirannya annular, meskipun di  $J_G$  yang relatif rendah.

#### 4. KESIMPULAN

Percobaan dilakukan dalam kondisi adiabatik pada kecepatan superfisial gas dan cairan masing-masing berkisar antara 0,025 - 66,3 m/s dan 0,033 - 4,935 m/s. Penelitian ini menggunakan tiga pasang fluida kerja, yaitu udara-air air, campuran air+gliserin (G20), dan campuran akuades+butanol 4%. Hasil penelitian dirangkum sebagai berikut:

1. Pola aliran yang diamati pada keempat fluida kerja adalah aliran bubbly, aliran slug, aliran slug-annular, aliran annular, dan aliran churn. Sedangkan aliran *stratified* tidak muncul, karena dominasi gaya tegangan permukaan.
2. Perubahan viskositas cairan mempengaruhi konfigurasi pola aliran.
3. Konfigurasi garis transisi pada peta pola aliran memiliki kemiripan yang tinggi, bahkan viskositas cairan pun berubah. Namun, beberapa garis transisi batas bergeser ketika viskositas cairan diubah.
4. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, ini sesuai dengan penelitian Triplett et al.[5] dan Chung & Kawaji [2]

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhao T.S., Bi Q.C., 2001, Co-current air-water two-phase flow patterns in vertical triangular microchannels, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 27, pp. 765-782.
- [2] Kawahara, A., Chung, P.M.Y., Kawaji, M., 2002, Investigation of Two-Phase Flow Pattern, Void Fraction and Pressure Drop in a Microchannel, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 28, pp. 1411-1435.
- [3] D. Tsaoulidis, V. Dore, P. Angeli, N. V. Plechkova, K. R. Seddon, Flow patterns and pressure drop of ionic liquid–water two-phase flows in microchannels, *Int. J. Multiphase flow*, 2013, 54: 1–10.
- [4] A.M. Barajas, R.L. Panton, 1993, The effect of contact angle on two-phase flow in capillary tubes. *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 19, pp. 337-346.
- [5] K. A. Triplett, S. M. Ghiaasiaan, S.I., Abdel-khalik, and D. L. Sadowski, 1999a, Gas-Liquid two-phase flow in microchannels. Part I: Two-phase flow pattern. *Int. J. Multiphase flow*, Vol. 25, pp. 377-394.
- [6] I. Hassan, M. Vaillancourt, K. Pehlivan, 2005, Two-phase flow regime transitions in microchannels: a comparative experimental study, *Microscale Thermophysical Engineering*, Vol. 9, pp. 165-182.
- [7] C.Y. Lee, S.Y. Lee, 2008, Influence of surface wettability on transition of two-phase flow pattern in round minichannels, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol.34, pp.706-711.
- [8] M.H. Saidi, P. Hanafizadeh, A. Nouri Gheimasi, S. Ghanbarzadeh, 2011, Experimental investigation of air– water, two-phase flow regimes in vertical mini pipe, *Scientia Iranica B*, Vol. 18 (4), pp. 923–929.
- [9] P.M.-Y. Chung, M. Kawaji, 2004. The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannel. *Int. J. Multiphase flow*, Vol. 30, pp. 735-761.
- [10] S. Saisorn, S. Wongwises, 2008, Flow pattern, void fraction and pressure drop of two-phase air-water flow in horizontal circular micro-channel, *Exp. Thermal and Fluid Science*, Vol. 32, pp. 748-760.
- [11] Kandlikar, S.G., Grande, W.J., 2003. Evolution of microchannel flow passages–thermohydraulic performance and fabrication technology, *Heat Transfer Eng.* 24, 3–17.
- [12] T. Fukano and T. Furukawa, 1998, Prediction of The Effects of Liquid Viscosity on Interfacial Shear Stress and Frictional Pressure Drop in Vertical Upward Gas-Liquid Annular Flow, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol 24, No 4, pp. 587-603.

- 
- [13] T. Furukawa, T. Fukano, 2001, Effects of Liquid Viscosity on Flow Patterns in Vertical Upward Gas-Liquid Two-Phase Flow, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 27, pp. 1109-1126.
- [14] DA. Mc Neil, and AD. Stuart, 2003, The Effects of a Highly Viscous Liquid Phase on Vertically Upward TwoPhase Flow in Pipe, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol 29, pp. 1523-1549.
- [15] J. Sowinski, and Dziubinski, 2007, The effect of liquid viscosity on the void friction in a two-phase gas-liquid flow in narrow mini-channels, *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6)*, Copenhagen, 16-20 September 2007
- [16] H. Matsubara, and K. Naito, 2011, Effect of Liquid Viscosity on Flow Pattern of Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Horizontal Pipe, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol 37, pp. 1277-1281.
- [17] Y. Zhao, H. Yeuang, E.E. Zorgani, A.E. Archibong, L. Lao, 2013, High Viscosity Effects on Characteristics of Oil and Gas Two-Phase Flow in Horizontal Pipes, *Chemical Engineering Science*, Vol 95, pp. 343-352.
- [18] M. Sadatomi, A. Kawahara, M. Matsuo, K. Ishimura, 2010, Effects of Surface Tension on Two-Phase GasLiquid Flows in Horizontal Small Diameter Pipes, *J. Power and Energy Systems*, Vol 4 No 2, pp. 290-300. 18. H.D. Beggs, J.P. Brill, 1973. A study of two-phase flow in inclined pipes, *J. Petrol. Technol*, 25(5), pp. 607-617.
- [19] Sudarja, Indarto, Deendarlianto, and Aqli Haq, Experimental study on the void fraction of air-water two-phase
- [20] Sudarja., Indarto., Deendarlianto, Noverdi, R., Gutama, A., 2014, Investigasi Pola Aliran Dua-Fasa Gas-Cairan Di Dalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horizontal, *SNTTM XIII*, 15-16 Oktober 2014, Depok – Jawa Barat.
- [21] Aqli Haq., Sudarja., Hasan Imaduddin., Indarto., Deendarlianto, Studi Karakteristik Pola Aliran Dua-Fasa Pada Pipa Horizontal Berukuran Mini, *PSIT 21*, 1 Juni 2015, Yogyakarta.
- [22] Eli Kumolosari., Sudarja., Indarto., Deendarlianto., Dian Indra Siregar., KARAKTERISTIK POLA ALIRAN DUA-FASE UDARA-CAMPURAN AKUADES DAN BUTANOL 4% PADA SALURAN MINI HORIZONTAL, *SNMI XI* 27-29 April 2017, Lombok.
-