

INVESTIGASI POLA ALIRAN DUA FASE UDARA-AKUADES DAN GLISERIN (40%, 50%, 60%, 70%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 5⁰ TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Endradi Roziantho^a, Sukamta^b, Sudarja^c

^{a,b,c}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
^aendradi.roziantho08@gmail.com, ^bmsukamta@gmail.com, ^csudarja@umy.ac.id

Abstract

Two-phase flow is the simplest phenomenon of multi-phase flow. Mini-pipe two-phase flow can be applied to high-density multi-chip modules on supercomputers, X-ray equipment, and other high-power diagnostic equipment, high-flux heat exchangers in aerospace systems, cryogenic cooling systems on satellites etc. The more widespread the application of two-phase flow on mini pipes in the industrial world, the experimental studies are needed in order to determine changes in flow patterns and flow pattern maps to variations in slope angle, viscosity value, superficial air velocity (J_G), and solution superficial velocity (J_L).

The visualization method in this study used a Nikon J4 camera. The results of the videos obtained are then analyzed the shape of the flow pattern based on the values of J_G and J_L . Furthermore, it is mapped in the flow pattern map with J_G as the x-axis and J_L as the y-axis. The map of the flow pattern that has been formed is then compared with previous research to find out the changes that occur and complete existing data.

The equipment and materials used in this study were glass pipes with a diameter of 1,6 mm and a solution of distilled water-glycerin with concentrations of 40%, 50%, 60%, and 70%. Variation of gas superficial velocity (J_G) and superficial velocity solution (J_L) in the range $J_G = 0 \text{ m/s} - 66,3 \text{ m/s}$; $J_L = 0,033 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$. In this study, there are five flow patterns: bubbly, plug, slug-annular, annular, and churn. Comparison of flow pattern maps in this study with maps of previous research flow patterns shows a shift in the transition line.

Keywords: two-phase, water-glycerin, mini pipe, viscosity, and flow pattern.

1. Pendahuluan

Aliran dua fase merupakan aliran fluida yang memiliki kondisi atau bentuk atau wujud dari suatu zat yang berbeda dalam suatu aliran. Aliran dua fase dapat digolongkan berdasarkan ukuran salurannya: *large channel*, *normal channel*, *mini channel*, *micro channel*, dan *nano channel*. Berdasarkan bentuk saluran (persegi, segitiga, dan lingkaran), berdasarkan posisi saluran (vertikal, horisontal, dan miring), berdasarkan arah aliran (mendatar sejajar, mendatar berlawanan arah, serah ke bawah, searah ke atas, dan berlawanan arah), berdasarkan fase pembentukannya (cair-padat, padat-gas, dan cair-gas). Pengaplikasian aliran dua fase pipa mini dapat diterapkan dalam kondensor, ketel uap, reaktor nuklir, pipa saluran, alat ukur penukar panas, *geothermal*, pencarian gas alam, dan lain sebagainya.

Aliran dua fase (*two-phase-flow*) merupakan fenomena paling sederhana dari aliran multi fase (*multiphase flow*). Pada aliran dua fase, distribusi masing-masing fase (gas dan cair) pada saluran merupakan hal yang sangat penting. Distribusi masing-masing fase tersebut mempengaruhi karakteristik aliran, yang sering disebut pola aliran dua-fase dan peta pola aliran dua fase. Pada aliran dua fase di dalam pipa berukuran mini dan mikro, fluida mempunyai sifat yang unik, yaitu tegangan permukaan sangat dominan sehingga hukum Newton untuk fluida tidak berlaku. Hal ini sebagai akibat kecilnya diameter saluran, maka pola aliran yang terbentuk hanya dipengaruhi oleh tegangan permukaan fluida cair, viskositas fluida cair, dan nilai kecepatan superficial gas dan fluida cair.

Triplett dkk. (1999) melakukan penelitian menggunakan udara dan air yang dilakukan pada pipa *circular microchannels* dengan diameter 1,1 mm dan 1,45 mm, dan pada pipa *semi-triangular microchannel* dengan diameter 1,09 dan 1,49 mm. Variasi kecepatan superfisial gas (J_G) yang digunakan dimulai dari 0,02 m/s hingga 80 m/s dan kecepatan superfisial larutan (J_L) dimulai dari 0,02 m/s hingga 8 m/s. Pola aliran yang teramati selama penelitian adalah *bubbly*, *slug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Pola aliran *stratified* tidak ditemukan dalam penelitian ini, hal ini disebabkan oleh pengaruh tegangan permukaan yang besar.

Chung dan Kawaji (2004) melakukan penelitian tentang pengaruh diameter saluran pada karakteristik aliran dua fase adiabatik di *microchannels*. Dalam penelitiannya fluida yang digunakan berupa gas nitrogen dan air pada saluran dengan diameter 530, 250, 100, dan 50 μm . Kecepatan superfisial fluida cair yang digunakan berkisar 0,01 m/s – 5,77 m/s, sedangkan kecepatan superfisial gas berkisar 0,02 m/s – 72,98 m/s. Metode visualisasi yang digunakan berupa gambar fotografi. Hasil dari visualisasi menunjukkan bahwa perbedaan pola aliran pada pipa diameter 530 dan 250 μm dengan pipa berdiameter 100 dan 50 μm . Pola aliran yang teramati dalam penelitian ini dengan diameter 530 dan 250 μm , yaitu: *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular* dan *annular*. Sedangkan pada pipa berukuran 100 dan 50 μm pola yang teramati hanya pola aliran *slug*.

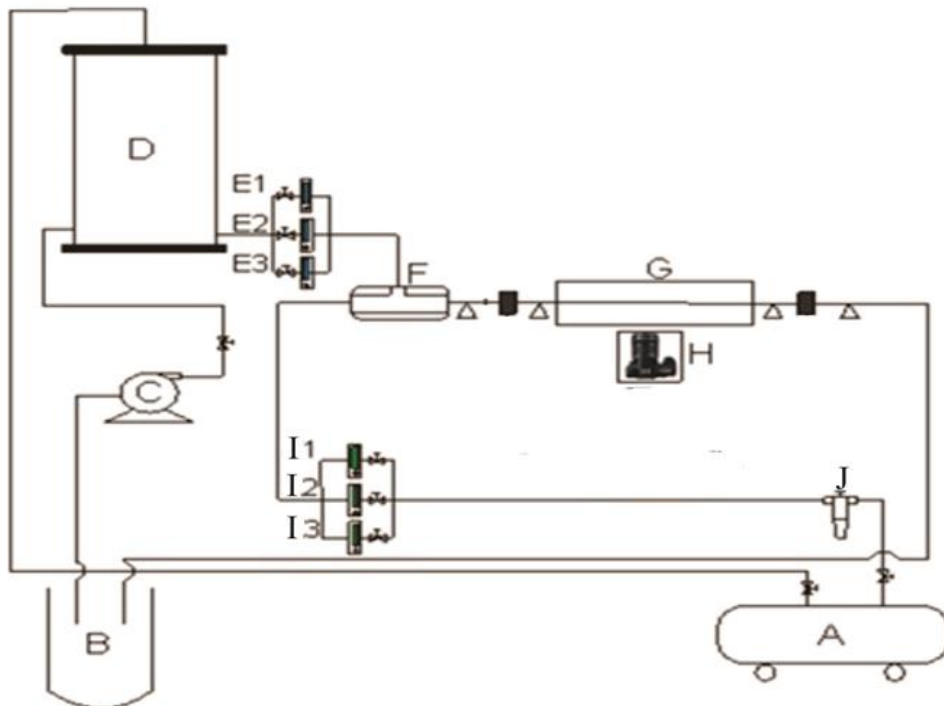
Sur dan Liu (2012) melakukan penelitian tentang aliran dua fase air-udara pada saluran sirkular dengan diameter dalam 100, 180, dan 324 μm . Dalam penelitiannya terdapat empat pola aliran berbeda yang terbentuk adalah *bubbly*, *slug*, *ring*, dan *annular*. Aliran *bubbly* dikarakteristikan sebagai pola aliran *dispersed bubble* tunggal dengan diameter lebih kecil dari ukuran saluran. Aliran *slug* dikarakteristikan dengan rangkaian dari *Taylor Bubble* yang memanjang, yang terpisah oleh gumpalan air. Aliran *ring* memiliki ciri-ciri aliran gas yang mengalir secara berkelanjutan pada pusat saluran, membentuk inti gas yang dikelilingi lapisan film dengan cincin seperti leher disekelilingnya. Aliran *annular* merupakan aliran gas secara berkelanjutan pada pusat saluran, membentuk inti gas yang dikelilingi lapisan air yang stabil.

Zhao dkk. (2013) melakukan penelitian tentang efek viskositas tinggi dengan karakteristik aliran dua fase minyak dan udara pada pipa horisontal. Penelitian ini dilakukan pada seksi uji dengan diameter dalam 26 mm dan panjang 5,5 m. Nilai viskositas cairan antara 1000 – 7500 cP, kecepatan superfisial minyak 0,06 – 0,5 m/s, dan kecepatan superfisial gas 0,3 – 12,0 m/s. Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengidentifikasi pola aliran yaitu menggunakan *Electrical Capacitance Tomography* (ETC) yang berfungsi membaca *liquid hold-up* dan metode visualisasi. Dengan membandingkan karakteristik sinyal *time-traced* ETC dengan visualisasi dari rekaman video maka di dapatkan pola aliran *plug*, *slug*, *blow through slug flow*, dan *annular*. Pada aliran *plug* sinyal yang dihasilkan ETC menunjukkan grafik dengan puncak yang curam. Dalam hal ini menunjukkan bubble yang berukuran besar mengalir dengan cepat. Seiring dengan peningkatan kecepatan superfisial gas, aliran *slug* tercipta dengan karakteristik sinyal ETC yang hampir mirip dengan aliran *plug*, namun jarak antara puncak semakin menjauh. Jika kecepatan superfisial ditingkatkan lagi, akan terbentuk aliran *blow through slug flow* dengan karakteristik sinyal beberapa puncak, sisanya cenderung stabil. Sedangkan pada kecepatan superfisial gas yang tinggi aliran *annular* tercipta dengan karakteristik sinyal yang cenderung stabil dengan satu puncak pendek.

Sudarja, dkk. (2018) melakukan penelitian tentang efek viskositas cairan pada pola aliran dua fase gas-cair pada saluran mini horisontal. Seksi uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa pipa kaca berdiameter dalam 1,6 mm dengan kecepatan superfisial gas (0,025 – 66,3 m/s) dan kecepatan superfisial cairan (0,033 – 4,935 m/s). Cairan yang digunakan adalah udara dan campuran akuades – gliserin dengan presentase (0%, 20%, 40%, dan 60%), dengan indeks (W, G20, G40, dan G60). Data pola aliran yang diperoleh dengan menganalisis gambar video, ditangkap menggunakan kamera berkecepatan tinggi. Hasil dari penelitian ini diperoleh pola aliran (*bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*), sedangkan aliran *stratified* tidak ditemukan.

2. Metode Penelitian

Instalasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. terdiri dari komponen utama: tangki air, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *test section*, *water trap*, *mixer*, dan konektor. Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian, antara lain: *amplifier*, *optical correction box*, kamera, komputer, *video processing system*, dan *acquisition system*. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian, antara lain: *flowmeter* air, *flowmeter* udara, *temperature indicator*, *Thermocouple*, *pressure indicator*, dan *pressure transducer*. Untuk pengambilan gambar video aliran, digunakan kamera berkecepatan tinggi merk Nikon tipe J4, dengan kecepatan 1200 fps dan resolusi 640 x 480 pixel. Akuisisi data dari “National Instrument” digunakan untuk mengkonversi data dari analog menjadi digital, agar dapat direkam, disimpan, diolah, dan dianalisa pada komputer. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Eksperimen dilakukan pada kecepatan superfisial gas (J_G) dengan interval 0,025 – 66,3 m/s, dan kecepatan superfisial cairan (J_L) dengan interval 0,033 – 4,935 m/s.



Keterangan :

- | | |
|---|---------------------------------|
| A. Kompresor | E. <i>Flowmeter</i> fluida cair |
| B. Tempat penampung campuran air dan gliserin | F. <i>Mixer</i> |
| C. Pompa air | G. Seksi uji |
| D. Bejana bertekanan | H. Kamera |
| | I. <i>Flowmeter</i> udara |
| | J. <i>Water trap</i> |

Gambar 3.1 Skema instalasi penelitian

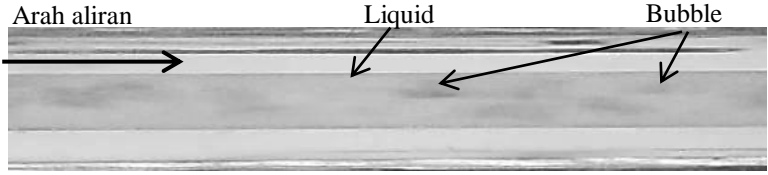
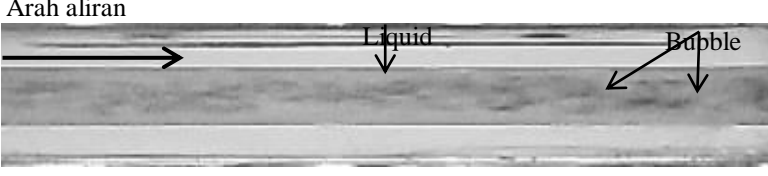
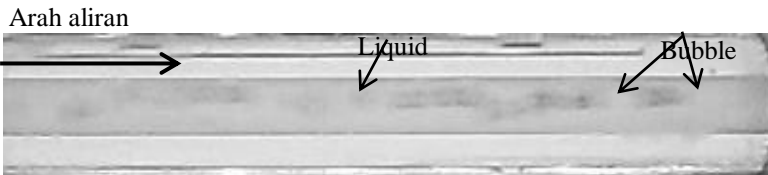
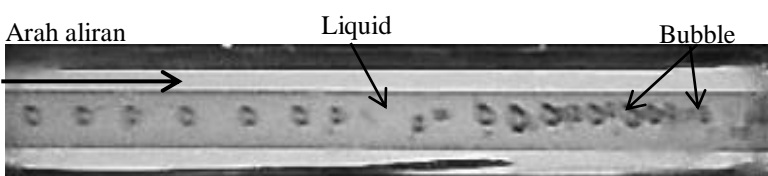
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian aliran dua fase udara – akuades dan gliserin pada saluran mini dengan kemiringan 5° terhadap posisi horisontal meliputi: pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran dari masing–masing variasi campuran akuades dan gliserin, dan perbandingan peta pola aliran terhadap penelitian terdahulu.

4.1 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* terbentuk pada saat J_G rendah dan J_L tinggi. Dalam kondisi ini, debit larutan akan mengalir memenuhi *mixing chamber* sedangkan debit udara yang rendah akan menerobos volume larutan yang mendominasi dalam *mixing chamber*. Seiring bertambahnya volume udara, dan mengecilnya luas permukaan *mixing chamber* menuju pipa dengan diameter 1,6 mm, maka udara akan berusaha mendorong larutan dan menyebabkan terbentuknya aliran dua fase pada saluran mini. Nilai tegangan permukaan larutan berpengaruh terhadap aliran udara seakan-akan terpotong menjadi gelembung-gelembung kecil.

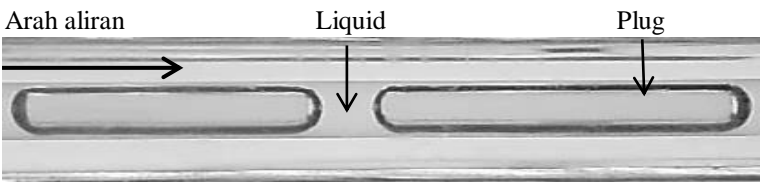
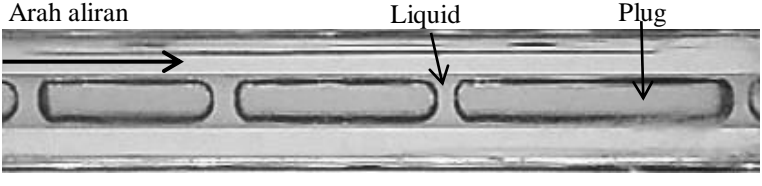
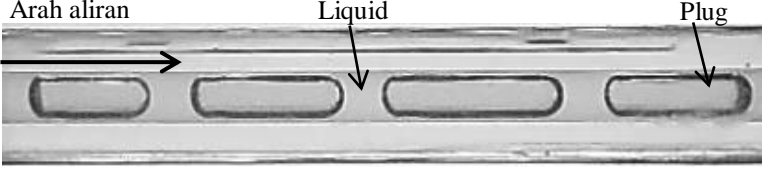
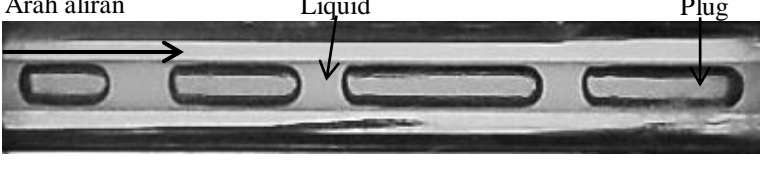
Tabel 4.1 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada $J_G = 0,871$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s.

No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

3.2 Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* terbentuk pada saat J_G dan J_L rendah, pola ini merupakan pola aliran *bubbly* yang memanjang dengan panjang lebih dari diameter dalam pipa. Perpanjangan *bubble* dikarenakan meningkatnya intensitas udara dalam aliran. Bentuk dari pola aliran *plug* seperti kapsul, ataupun peluru dan panjangnya beragam. Pola aliran *plug* terjadi dengan teratur dan konsisten pada awal J_G dan J_L , namun seiring dengan kenaikan kecepatan superfisial bentuk pola aliran *plug* akan berubah. Pola aliran ini merupakan pengganti pola aliran *stratified* yang terbentuk dalam pipa konvensional. Pada pipa mini, efek gaya kapiler menyebabkan tidak munculnya pola aliran *stratified*. Saat level larutan pada *mixing chamber* mulai meningkat dan bersiap memasuki saluran bersama dengan aliran udara, gaya kapiler cairan akan membentuk *liquid bridge*, yang merupakan awal terbentuknya pola aliran *plug*.

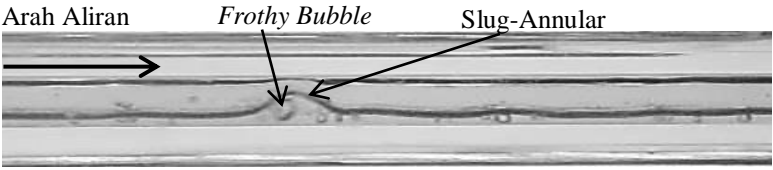
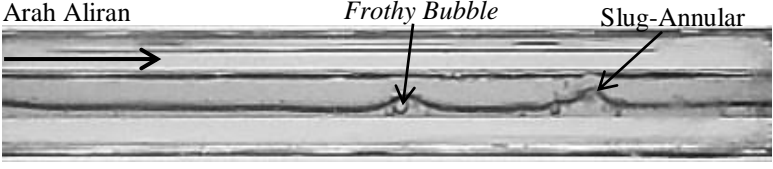
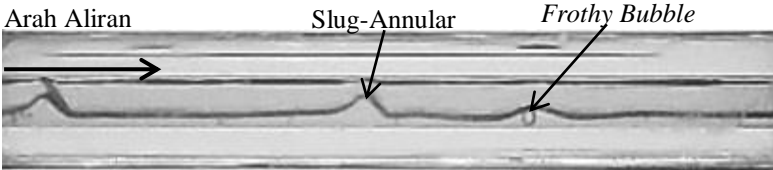

Tabel 4.2 Perbandingan panjang pola aliran *plug* untuk masing – masing kondisi larutan konsentrasi gliserin pada $J_G = 0,207$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s.

No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

3.3 Pola Aliran *Slug-Annular*

Pola aliran *slug-annular* merupakan pola peralihan dari pola aliran *plug* menuju pola aliran *annular*. Pola aliran *slug-annular* terjadi pada saat aliran udara sudah mengalir secara berkelanjutan, sementara aliran fluida cair yang berusaha menembus aliran udara yang muncul di sekelilingnya dan pada bagian bawah lapisan fluida cair lebih tebal dibandingkan dengan lapisan di bagian atas, selanjutnya pada kondisi tertentu lapisan fluida cair pada bagian bawah semakin menebal dan membentuk gelombang. Pola aliran *slug-annular* terbentuk karena lapisan air pada bagian bawah lebih tebal di bandingkan bagian atas. *Frothy bubble* sering teramati pada pola aliran ini dan sewaktu-waktu akan pecah. Hal ini mengakibatkan terjadinya gelombang pada larutan, atau membuat kantong udara menjadi terpotong dan membentuk pola aliran *plug*. Peningkatan viskositas cairan menyebabkan semakin menebalnya lapisan air yang berada di sekeliling aliran udara yang melaju secara berkelanjutan dan sesekali mengalami gangguan berupa gelombang air yang ingin memutus laju aliran udara. Peningkatan viskositas cairan menyebabkan semakin menebalnya lapisan air yang berada di sekeliling aliran udara yang melaju secara berkelanjutan dan sesekali mengalami gangguan berupa gelombang air yang ingin memutus laju aliran udara. Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan nilai J_G dan J_L yang sama sedangkan konsentrasi gliserin bervariasi dapat dilihat pada tabel 4.3.

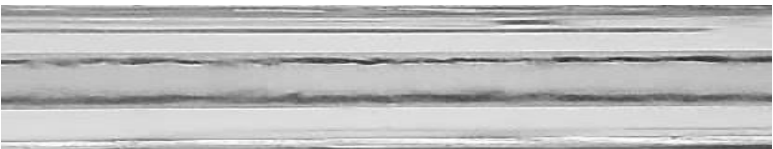
Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *slug-annular* pada berbagai kondisi konsentrasi gliserin pada kondisi $J_G = 4,238$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s.

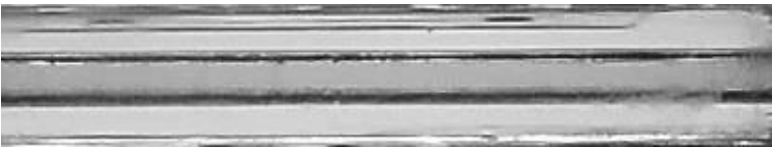
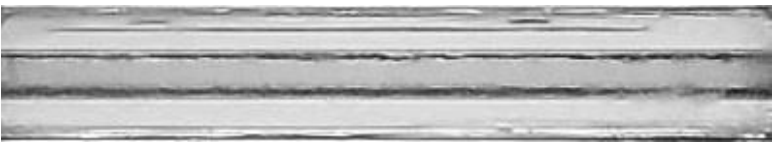

No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

3.4 Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* merupakan kelanjutan dari pola aliran *slug-annular* yang kecepatan superfisial gasnya dinaikan secara terus menerus hingga batas maksimal. Hal ini menyebabkan gelombang yang awalnya berusaha memutus aliran udara perlahan mulai menghilang hingga terbentuk suatu aliran dimana aliran udara mengalir secara berkelanjutan dengan lapisan larutan yang mengalir di sekelilingnya dengan sedikit riak. Ketebalan larutan bagian atas dan bawah tidak jauh berbeda, sehingga aliran ini sering disebut juga pola aliran 'cincin'. Jika dilihat dari depan akan tampak larutan yang seakan-akan melingkari inti udara dan seperti membentuk cincin.

Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *annular* pada berbagai kondisi konsentrasi gliserin pada kondisi $J_G = 66,3$ m/s dan $J_L = 0,539$ m/s.



No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
1	40%	

No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
2	50%	
3	60%	
4	70%	

3.5 Pola Aliran Churn

Pola aliran *churn* terjadi pada saat kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial larutan tinggi, sehingga inti udara maupun larutan menjadi acak. Dengan naiknya volume udara maupun larutan pada aliran *slug-annular* dan *annular* membuat lapisan larutan pada dinding pipa semakin tebal, aliran udara yang sebelumnya mengalir secara berkelanjutan menjadi terganggu dengan volume larutan dalam jumlah besar. Besarnya jumlah volume larutan yang mengalir seharusnya dapat terbentuk pola aliran *slug*, namun laju udara yang besar membuat larutan terdispersi menjadi ukuran yang sangat kecil dan mengalir dengan kecepatan yang tinggi. Sehingga dalam pengamatan hanya terlihat sebagai bayangan hitam pada aliran inti udara yang diselimuti aliran fluida cair yang mengalir dengan cepat.

Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *churn* pada berbagai kondisi konsentrasi gliserin pada kondisi $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s.

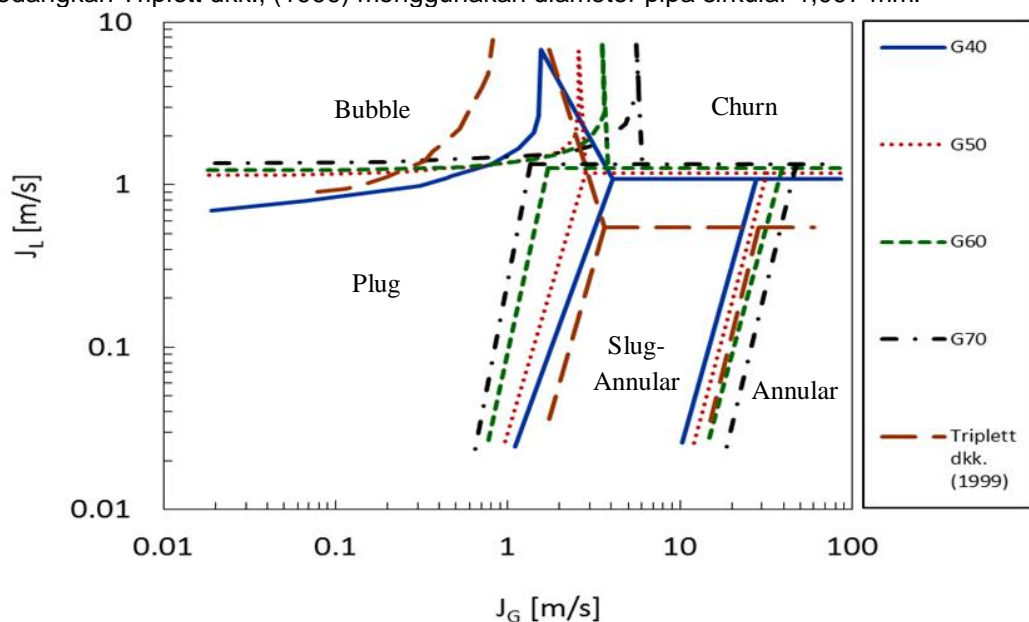
No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
1	40%	
2	50%	

No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
3	60%	
4	70%	

3.6 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan hasil penelitian terhadap penelitian terdahulu perlu dilakukan untuk mengetahui konsistensi hasil penelitian yang didapat dan perubahan garis transisi yang disebabkan oleh perubahan parameter tertentu yang diujikan. Perbandingan peta pola aliran yang digunakan adalah peta aliran milik Triplett dkk. (1999).

Perbandingan peta pola aliran untuk perubahan viskositas dan kemiringan sudut dibandingkan dengan hasil penelitian Triplett dkk. (1999). Gambar 4.1 menunjukkan beberapa perbedaan garis transisi. Garis transisi antara pola aliran *churn* dengan pola aliran *slug-annular* dan *annular* mengalami pergeseran hal ini disebabkan oleh perbedaan viskositas fluida cair dan diameter pipa yang digunakan. Fluida cair pada penelitian ini menggunakan campuran akuades dan gliserin dengan konsentrasi (40%, 50%, 60%, dan 70%), sedangkan pada penelitian Triplett dkk., (1999) menggunakan fluida cair berupa air. Diameter pipa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1,66 mm, sedangkan Triplett dkk., (1999) menggunakan diameter pipa sirkular 1,097 mm.



Gambar 4.1 Perbandingan garis transisi peta pola aliran dengan hasil penelitian Triplett dkk. (1999)

4. Kesimpulan

1. Terdapat 5 jenis pola aliran yang terbentuk dalam pipa mini berukuran 1,6 mm dengan kemiringan 5° terhadap posisi horisontal, variasi viskositas, dan rentang nilai $J_G = 0 \text{ m/s} - 66,3 \text{ m/s}$; $J_L = 0,033 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$, yaitu pola aliran: *bubble*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*.
 - (a) Pola aliran *bubbly* mulai teramati pada $J_G = 0,025 \text{ m/s} - 0,871 \text{ m/s}$ dan nilai $J_L = 0,879 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$ untuk konsentrasi 40%, $J_G = 0,025 \text{ m/s} - 1,941 \text{ m/s}$; $J_L = 2,297 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$ untuk konsentrasi 50%, $J_G = 0,025 \text{ m/s} - 3 \text{ m/s}$; $J_L = 2,297 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$ untuk konsentrasi 60%, dan $J_G = 0,025 \text{ m/s} - 4,238 \text{ m/s}$; $J_L = 2,297 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$ untuk konsentrasi 70%.
 - (b) Pola aliran *plug* mulai teramati pada nilai J_G dan J_L rendah hingga $J_G = 3 \text{ m/s}$ untuk konsentrasi 40%, $J_G = 1,941 \text{ m/s}$ untuk konsentrasi 50%, dan $J_G = 0,871 \text{ m/s}$ untuk konsentrasi 60% dan 70%.
 - (c) Pola aliran *slug-annular* terbentuk pada saat nilai kecepatan superfisial gas pola aliran *plug* dinaikan sehingga aliran udara dapat melewati celah larutan dan membentuk aliran udara yang mengalir secara berkelanjutan dengan gelombang larutan yang berada dilapisan bawah aliran udara. Seiring dengan kenaikan nilai kecepatan superfisial gas, maka gelombang larutan yang berada dibawah aliran udara akan semakin berkurang dan tersebar mengelilingi aliran udara sehingga membentuk pola aliran *annular*.
 - (d) Pola aliran *churn* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial gas dan larutan sangat tinggi, sehingga aliran udara melawati aliran larutan dengan kecepatan yang tinggi dan membuat aliran larutan terpecah menjadi sangat kecil. Hal ini menyebabkan pola yang muncul sulit teramati karena hanya terbentuk bayangan hitam yang mengalir dengan sangat cepat.
2. Perubahan bentuk pola aliran terhadap meningkatnya viskositas larutan terlihat signifikan pada pola aliran *bubbly* dan *plug*. Semakin besar nilai viskositas maka pola aliran *bubbly* yang terbentuk akan semakin teratur dan berkurangnya *dispersed bubble*. Sedangkan pada pola aliran *plug*, pengaruh kenaikan nilai viskositas membuat panjang *plug* semakin pendek untuk kondisi nilai kecepatan superfisial gas dan larutan yang sama.
3. Hasil perbandingan peta pola aliran dengan hasil penelitian triplett dkk.,(1999) menunjukkan beberapa perbedaan garis transisi. Garis transisi antara pola aliran *churn* dengan pola aliran *slug-annular* dan *annular* mengalami pergeseran hal ini disebabkan oleh perbedaan viskositas larutan dan diameter pipa yang digunakan. Larutan pada penelitian ini menggunakan campuran akuades dan gliserin dengan konsentrasi (40%, 50%, 60%, dan 70%), sedangkan pada penelitian Triplett dkk., (1999) menggunakan fluida cair berupa air. Diameter pipa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1,66 mm, sedangkan Triplett dkk., (1999) menggunakan diameter pipa sirkular 1,097 mm.

Daftar Pustaka

- [1] Chung, P., & Kawaji, M. (2004). The Effect Of Channel Diameter On Adiabatic Two-Phase Flow Characteristics In Microchannel. *Int. J. Multiphase Flow*, 30, 735-761.
- [2] Zhao, Y., Yeung, H., Zorgani, E. E., Archibong, A. E., & Lao, I. (2013). High Viscosity Effect On Characteristics Of Oil And Gas Two-Phase Flow In Horizontal Pipes. *Chemical Engineering Science*, 95, 343-352.
- [3] Sur, A., & Liu, D. (2012). Adiabatic Air-Water Two-Phase Flow In Circular Microchannels. *International Journal Of Thermal Sciences*, 53, 18-34.
- [4] Triplett, K. A., Ghiaasiaan, S. M., Abdel-Khalik, S. I., & Sadowski, D. L. (1999). Gas-Liquid Two-Phase Flow In Microchannels Part I: Two-Phase Flow Patterns. *International Journal Of Multiphase Flow*, 25, 377-394.

- [5] Sudarja, Jayadi, F., Indarto, Deendarlianto, & Widyaparaga, A. (2018). The Effect Of Liquid Viscosity On The Gas-Liquid Two-Phase Flow Pattern In Horizontal Mini-Channel. *AIP Conference Proceedings*.