

## KAJIAN EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE UDARA-AKUADES CAMPURAN BUTANOL 3% PADA SALURAN KECIL POSISI KEMIRINGAN 40°

Rahmat Dwi Hidayat<sup>a</sup>, Sukamta<sup>b</sup>, Sudarja<sup>c</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

<sup>a</sup>[rdwih23@gmail.com](mailto:rdwih23@gmail.com), <sup>b</sup>[msukamta@gmail.com](mailto:msukamta@gmail.com), <sup>c</sup>[sudarja\\_msn@yahoo.com](mailto:sudarja_msn@yahoo.com)

---

### Abstrak

Aliran dua-fase merupakan bagian dari aliran multifasa yang hanya melibatkan dua macam wujud dari suatu zat dalam sebuah aliran. Pada umumnya aliran dua fasa sering dijumpai dalam sistem perpipaan minyak dan gas, reaktor nuklir, geothermal, pendingin perangkat elektronik. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan data primer tentang kajian eksperimental karakteristik aliran dua-fase udara-akuades + 3% butanol pada pipa kecil posisi miring 40°. Data primer yang diambil yaitu: Video pola aliran dan gradien tekanan. Penelitian ini dilakukan menggunakan seksi uji berupa pipa kecil dengan diameter dalam pipa sebesar 1,6 mm dengan panjang 130 mm dan kemiringan 40° terhadap posisi horizontal. Fluida yang bekerja adalah udara-akuades aquades dengan campuran butanol 3%. Dengan memvariasikan nilai kecepatan superfisial gas dan cairan pada kisaran  $J_G = 0,025 - 66,3$  m/s dan  $J_L = 0,033 - 4,935$  m/s. Pada penelitian ini menggunakan metode visualisasi dengan program *MOV to AVI* kemudian diolah dengan *virtual dub* untuk pola aliran, *digital image processing* dengan program MATLAB R2014a untuk fraksi hampa dan untuk gradien tekanan menggunakan sensor tekanan fluida *MPX System* yang dihubungkan ke komputer. Pada penelitian ini pola aliran yang didapatkan yaitu: *bubble*, *plug*, *slug annular*, *annular* dan *churn*. Pola aliran yang terbentuk lalu dijustifikasi kemudian dipetakan berdasarkan variasi kecepatan superfisialnya, peta pola aliran juga dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu. Nilai fraksi hampa dipengaruhi oleh  $J_G$  dan  $J_L$  yang bervariasi dan pola aliran yang terjadi. Sedangkan untuk hasil gradien tekanan menunjukkan bahwa kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial cair ( $J_L$ ) sangat mempengaruhi nilai gradien tekanan semakin tinggi nilai  $J_G$  dan  $J_L$  maka nilai gradien tekanan akan semakin naik.

**Kata kunci:** Dua fase, pipa kecil, butanol, kecepatan superfisial, pola aliran, peta pola aliran, fraksi hampa, gradien tekanan.

---

---

---

### **Abstract**

*A two-phase flow is part of a multiphase flow which only involves two forms of a substance in a stream. In general, two-phase flow is often found in oil and gas piping systems, nuclear reactors, geothermal, cooling electronic devices. The purpose of this study was to obtain primary data on an experimental study of the characteristics of a two-phase flow of akuades-water + 3% butanol in a small pipe with a slanted position of 40°. Primary data taken are: Video flow patterns and pressure gradients. This research was conducted using a test section in the form of a small pipe with a diameter of 1.6 mm in length with 130 mm in length and a slope of 40 ° to the horizontal position. The working fluid is akuades-water distilled water with 3% butanol mixture. By varying the superficial velocity values of gas and water in the range  $JG = 0.025 - 66.3 \text{ m/s}$  and  $JL = 0.033 - 4.935 \text{ m/s}$ . In this study using a visualization method with the MOV to AVI program and then processed with virtual dub for flow patterns, digital image processing with the MATLAB R2014a program for vacuum fractions and for pressure gradients using the MPX System fluid pressure sensor connected to the computer. In this study the flow patterns obtained are: bubble, plug, annular, annular and churn slug. Flow patterns that are formed are then justified and mapped based on variations in superficial velocity, flow pattern maps are also compared with the results of previous studies. The value of the vacuum fraction is influenced by the varied  $JG$  and  $JL$  and the flow patterns that occur. As for the pressure gradient results show that the gas superficial velocity ( $JG$ ) and liquid superficial velocity ( $JL$ ) greatly affect the pressure gradient value the higher the  $JG$  and  $JL$  values, the pressure gradient value will increase.*

*Keywords: Two phases, small pipe, butanol, superficial velocity, flow pattern, flow pattern map, vacuum fraction, pressure gradient.*

---

---

## 1. Pendahuluan

Fase (*phase*) adalah kondisi atau bentuk atau wujud dari suatu zat, yang dapat berupa padat, cair, atau gas. Aliran multi fase (*multiphase flow*) adalah aliran simultan dari beberapa fase. Aliran dua fase (*two-phase flow*) adalah fenomena paling sederhana dari aliran multi fase. Aliran dua fase banyak dijumpai baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri.

Studi tentang aliran dua fase dapat kita bedakan menjadi beberapa bagian, menurut kombinasi antar fasenya yaitu, (gas-cair, cair-padat, dan padat-gas), menurut arah aliran yaitu, (searah keatas, searah kebawah, dan berlawanan arah), dan menurut kedudukan saluran yaitu, (mendatar, tegak, dan miring). Aliran dua fase dapat terjadi pada saluran atau pipa berukuran besar (*large pipe*), normal (*normal pipe*), mini (*mini pipe*) dan mikro (*micro pipe*).

Dalam penelitian karakteristik aliran dua fase pada pipa kecil sangat tergantung pada tegangan permukaan dan viskositas karena ukuran pipa yang semakin kecil cairan akan memiliki kecenderungan untuk naik dan membasahi permukaan dalam pipa karena adanya gaya-gaya kapiler yang bekerja. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya pola aliran *intermittent* pada pipa yang kecil, sedangkan pada pipa dengan diameter yang lebih besar akan terjadi pola aliran terpisah (*stratified*).

Dalam penelitian untuk mengetahui pola aliran dan fraksi hampa maka dilakukan analisis aliran dengan metode visualisasi dengan fotografi terhadap pola aliran yang terbentuk. Metode ini memberikan analisis gambar secara mendalam dengan beberapa tahapan *image processing* untuk mendapatkan data yang diinginkan. Salah satu keunggulan dari metode ini memungkinkan untuk menganalisis hasil visual dengan tingkat akurasi yang baik tanpa merusak atau mengganggu aliran. Sementara itu, gradien tekanan diperoleh dengan mengolah data yang didapatkan dari pengendali mikro *single-board* yaitu *Pressure Transducer MPX System*. Metode ini mampu memberikan data yang sangat banyak dalam kurun waktu yang singkat dan akurat.

Penelitian tentang aliran dua fase pada saluran pipa mini baru diteliti oleh sedikit peneliti, dan berdasarkan pemahaman keilmuan yang penulis miliki, masih ada kebelum seragaman hasil investigasi yang dipublikasikan. Dari beberapa penelitian tentang aliran dua fase pada pipa mini yang telah dilakukan Penelitian mengenai karakteristik aliran dua fase pada saluran kecil telah diteliti oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain Triplett dkk.(1999), Kawahara dkk., (2002), Barnea dkk., (1983), Sudarja dkk., (2015), Sudarja dkk., (2016), Sudarja dkk., (2018), He dkk., (2011) dan Sukamta dkk., (2019). Terdapat beberapa hasil yang menarik di mana pola aliran dua fase pada pipa kecil berbeda dengan pola aliran dua fase pada pipa konvensional. Penelitian tersebut menghasilkan berbagai macam hasil. Visualisasi dari pola aliran yang terbentuk serta penggambaran peta pola aliran menjadi penting untuk menunjukkan karakteristik-karakteristik yang ada pada aliran dua fase tersebut.

Jika pada penelitian terdahulu fluida cair yang digunakan adalah air yang memiliki tegangan permukaan yang tinggi dan posisi saluran horizontal maka pada penelitian ini menggunakan campuran akuades dan butanol 3% yang memiliki nilai tegangan permukaan yang lebih rendah selain itu sudut kemiringan dibuat 40°. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek penurunan nilai tegangan permukaan dan sudut kemiringan untuk mendapatkan informasi mengenai karakteristik aliran dua fase pada pipa saluran kecil.

## 2. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai aliran dua fase dan fraksi hampa telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, penelitian dilakukan pada saluran pipa berdiameter kecil hingga besar. Mulai dari saluran nano (*nano channel*), mikro (*micro channel*), normal (*normal channel*), dan saluran besar (*large channel*). Penelitian tersebut menghasilkan hasil yang berbeda-beda. Perbedaan ini disebabkan karena tiap penelitian dilakukan dengan menggunakan metode yang berbeda.

Sudarja dkk., (2015) telah melakukan penelitian mengenai fraksi hampa aliran dua fase menggunakan pipa berdiameter 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja udara dan akuades. Nilai fraksi hampa didapatkan dengan melakukan *image processing* video yang didapatkan menggunakan kamera Nikon J4 dengan kecepatan 1200 fps. Penelitian ini dilakukan dalam kondisi adiabatik dengan kecepatan superfisial gas 0,83 - 65,4 m/s dan kecepatan superfisial cairan 0,02 - 4,14 m/s.

Sukamta dkk., (2019) melakukan penelitian tentang mengenai fraksi hampa aliran dua fase udara dan campuran gliserin dengan viskositas yang berbeda-beda pada saluran kapiler miring  $5^\circ$  terhadap horizontal. Penelitiannya dilakukan menggunakan *digital image processing*. Hasil dari penelitiannya menyebutkan bahwa viskositas cairan sangat berpengaruh terhadap pola aliran *bubbly* dan *plug*. Meningkatnya nilai kecepatan superfisial gas menyebabkan nilai fraksi hampa semakin meningkat, sementara itu meningkatnya nilai superfisial cairan menyebabkan menurunnya nilai fraksi hampa. Panjang pola aliran *bubbly* dan *plug* dipengaruhi oleh nilai aliran homogen ( $\beta$ ).

Kawahara dkk., (2002) melakukan penelitian aliran satu fase dan dua fase dengan fluida kerja yaitu nitrogen-air yang sudah terionisasi menggunakan saluran *fused* silika berdiameter 100  $\mu\text{m}$ . parameter yang digunakan yaitu kecepatan superfisial udara 0,1–60 m/s dan kecepatan superfisial cairan 0,002–4 m/s. hasil yang berhasil diamati pada penelitian ini pola aliran *liquid alone (liquid slug)*, aliran inti gas dengan film cairan halus-tipis, aliran inti gas dengan film cairan halus-tebal, aliran inti gas dengan film cairan berbentuk cincin dan aliran inti gas dengan antarmuka yang terdeformasi. Saluran yang sangat kecil menyebabkan nilai bilangan *Reynolds* mengecil dan memperbesar tegangan permukaan yang terjadi sehingga aliran *bubbly* dan *churn* pada penelitian ini tidak dapat diamati.

Li dkk., (2014) melakukan eksperimen aliran dua fase gas-cair vertikal ke atas dalam 2 0,81 mm kecil saluran persegi panjang dan saluran segitiga sama sisi dengan panjang sisi 2 mm. Dua saluran memiliki diameter hidrolik yang sama ( $D_h = 1,15$  mm). Penyajian peta pola aliran eksperimental dengan kecepatan superfisial nitrogen dan air mulai dari 0,08 m / s hingga 11,82 m / s dan 0,12 m / s hingga 1,52 m / s, masing-masing. Hasil menunjukkan bahwa bentuk penampang dan kondisi eksperimental dari pipa eksperimental secara signifikan mempengaruhi perubahan rezim aliran.

He dkk., (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh tegangan permukaan terhadap distribusi fase dari aliran dua fase udara-cairan melewati sebuah persimpangan T dengan diameter 0,5 mm. Penurunan tegangan permukaan pada penelitian ini menyebabkan berkurangnya cairan yang terambil ketika pola aliran pada saluran masuk adalah *slug*, *slug-annular* dan *annular*. Hasil yang disoroti pada penelitian ini adalah tegangan permukaan yang tinggi menyebabkan cairan menyimpan energi kinetik yang diangkut oleh udara lebih banyak dan menghilangkannya dalam bentuk vorteks. Distribusi fase pada persimpangan T mikro dapat sebagian dikontrol dengan mengatur tegangan permukaan cairan.

Pehlivan dkk., (2006) dalam penelitian aliran dua fase serta karakteristiknya di dalam mini dan saluran mikro. Percobaan penurunan tekanan gesekan dua fase dan eksperimen aliran dilakukan dengan tiga bagian uji yang berbeda, yaitu berdiameter 3 mm, 1 mm, dan 800  $\mu\text{m}$ . Ditemukan hasil bahwa garis transisi yang disederhanakan memberikan perkiraan yang baik dari rezim transisi untuk semua studi yang ada dalam rentang peta yang diizinkan.

Sudarja dkk., (2016) melakukan penelitian mengenai gradien tekanan aliran dua fase dengan fluida kerja udara dan campuran air-gliserin sebesar 20%. Penelitian ini dilakukan menggunakan pipa berdiameter dalam 1,6 mm. Parameter kecepatan superfisial udara yang digunakan adalah 0,025-66,3 m/s dan kecepatan superfisial campuran 0,033-4,935 m/s. Kecepatan superfisial mempengaruhi nilai gradien tekanan. Semakin besar kecepatan superfisial gas maupun cairan maka semakin besar nilai gradien tekanan. Hal ini sesuai dengan teori dari *total volumetric flux*. Dibandingkan dengan prediksi dengan model homogen, penelitian ini memiliki kesesuaian yang kurang baik. Hal ini terjadi karena

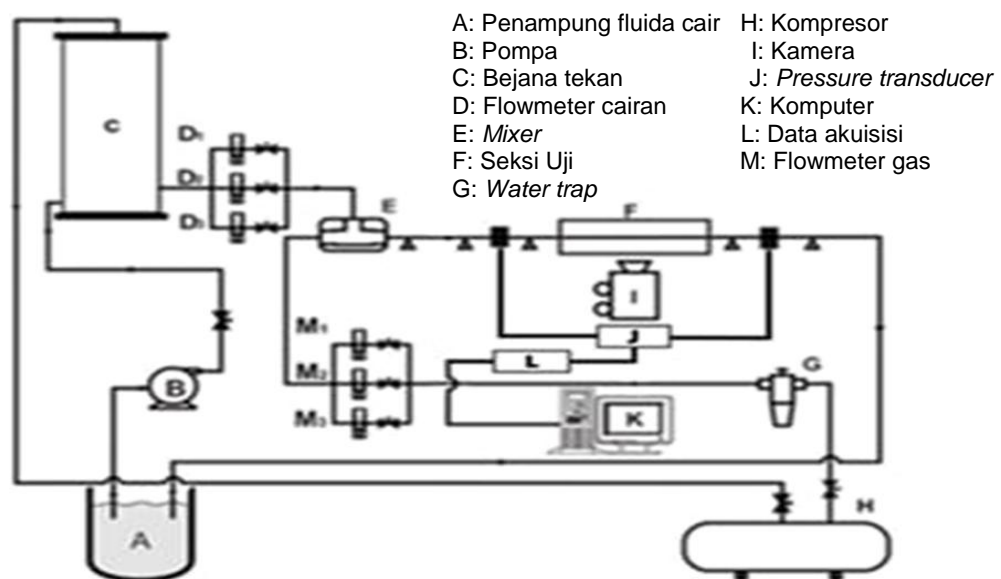
pola aliran yang terbentuk bukan aliran homogen. Data prediksi penelitian ini berkorelasi baik dengan penelitian Mishima Hibiki (1996).

Chung dan Kawaji, (2004) juga melakukan pengukuran tentang fraksi hampa. Metode analisis gambar yang berbeda digunakan untuk membedakan jarak dan rata-rata fraksi hampa dari gambar video antarmuka gas dan cairan. Data fraksi hampa pada aliran 530 dan 250  $\mu\text{m}$  dikurangkan hingga mencapai 300 gambar video setiap kali eksperimen. Fraksi hampa didapatkan dengan mencocokkan batas yang ditempati oleh gas ke bentuk volume simetris dan memperkirakan fraksi dari volume gas.

Kawahara dkk., (2002) melakukan penelitian aliran satu fase dan dua fase dengan fluida kerja yaitu nitrogen-air yang sudah terionisasi menggunakan saluran *fused* silika berdiameter 100  $\mu\text{m}$ . parameter yang digunakan yaitu kecepatan superfisial udara 0,1–60 m/s dan kecepatan superfisial cairan 0,002–4 m/s. hasil yang berhasil diamati pada penelitian ini pola aliran *liquid alone (liquid slug)*, aliran inti gas dengan film cairan halus-tipis, aliran inti gas dengan film cairan halus-tebal, aliran inti gas dengan film cairan berbentuk cincin dan aliran inti gas dengan antarmuka yang terdeformasi. Saluran yang sangat kecil menyebabkan nilai bilangan *Reynolds* mengecil dan memperbesar tegangan permukaan yang terjadi sehingga aliran *bubbly* dan *churn* pada penelitian ini tidak dapat diamati.

### 3. Metode Penelitian

Bahan penelitian berupa fluida gas dan cair. Fluida gas yang digunakan adalah udara yang memiliki kelembaban rendah yang didapat dari kompresor yang telah dilengkapi dengan *water trap*, sedangkan untuk fluida cair yang digunakan adalah campuran akuades dan butanol 3% yang dialirkan ke dalam bejana bertekanan dengan bantuan pompa. Penelitian ini dilakukan pada kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) = 0,025 - 66,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) = 0,033 - 4,935 m/s. Penelitian dilakukan pada suatu Instalasi peralatan yang ditunjukkan pada gambar 1. Instalasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama: tangki air, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *mixer*, *test section*, konektor dan separator. Peralatan yang mendukung dalam penelitian ini antara lain: kamera, amplifier, komputer, *optical correction box*, *acquisition system*, dan *video processing system*. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Mpx, data akuisisi, *temperature indicator*, *pressure indicator*, *flowmeter* udara, *flowmeter* air. dan *thermocouple*.



Gambar 1. Skema alat penelitian

### 3.1. Pola aliran

Untuk pengolahan data pola aliran diperoleh dari pengujian berupa video yang didapat dari kamera berkecepatan tinggi. Dari hasil video yang berhasil terekam pada kamera kemudian hasil video diamati sehingga dapat ditentukan jenis pola alirannya. Kemudian pola aliran yang berhasil diamati didistribusikan ke dalam peta pola aliran sesuai dengan nilai kecepatan superfisialnya.

### 3.2. Fraksi hampa

Pengolahan fraksi hampa didapatkan dari video yang telah direkam dengan menggunakan kamera dengan kecepatan 1200 fps dipindah ke komputer. Masing-masing video tersebut kemudian diberi garis hitam pada sisi kanan dan sisi kiri menggunakan software AVS video editor untuk memudahkan MATLAB dalam membaca nilai fraksi hampa. Setelah semua video diberi garis hitam di sisi kanan dan sisi kiri, video tersebut dipecah menjadi gambar-gambar menggunakan software Virtual Dub. Gambar-gambar tersebut kemudian diolah menggunakan software MATLAB.

### 3.3. Gradien tekanan

Untuk mengukur *pressure drop*, digunakan sensor beda tekanan berupa pressure transducer dari *MPX sytem* yang dihubungkan dengan sisi masuk dan sisi keluar seksi uji. Data yang didapatkan dari sensor tersebut masih berupa data analog. Untuk mengubah data analog menjadi data digital digunakan akuisisi data dari *arduino UNO*. Sebelum digunakan sensor beda tekanan dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan manometer vertikal pada kondisi statis. Kemudian dari *arduino UNO* ke perangkat komputer agar data bisa diolah dan direkam kedalam perangkat komputer melalui software yang sudah terinstal.

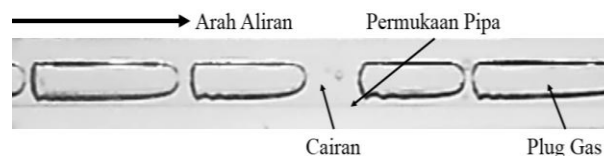
## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Pola Aliran

Dari hasil indentifikasi yang diperoleh dari video terdapat lima macam pola aliran yang terdeteksi yaitu : *plug*, *bubble*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Dengan mengatur kecepatan superfisial *gas* ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ) .

#### 4.1.1 Pola Aliran *Plug*

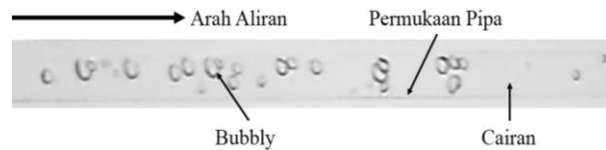
Pola aliran *plug* terbentuk saat kecepatan superfisial gas dinaikan sedangkan kecepatan superfisial cair pada aliran *plug* cenderung rendah dibandingkan dengan aliran *bubble*. Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada kecepatan ( $J_G$ ) = 0,025 m/s sedangkan kecepatan ( $J_L$ ) = 0,033 m/s, Pola aliran *plug* bergerak dengan kecepatan konsisten dengan kondisi tertentu.



Gambar 2. Pola aliran *plug* pada  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 0,232$  m/s

#### 4.1.2 Pola Aliran *Bubbly*

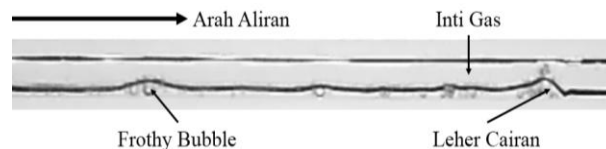
Terbentuknya pola aliran *bubbly* ketika nilai kecepatan superfisial udara lebih rendah dari kecepatan superfisial cairan. Dengan debit cairan yang lebih besar daripada debit gas menyebabkan cairan di area mixer menumpuk, oleh sebab itu aliran *bubble* muncul ketika gas yang terkumpul dibagian atas dari *mixer* menerobos cairan yang terkumpul. Semakin kecilnya saluran pada *mixer* mengakibatkan udara yang terkumpul terus mendorong cairan sehingga menyebabkan terjadinya aliran dua fase, kemudian aliran udara yang berhasil keluar seperti terpotong-potong.



Gambar 3. Pola aliran *bubbly* pada  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,879$  m/s

#### 4.1.3 Pola Aliran *Slug-annular*

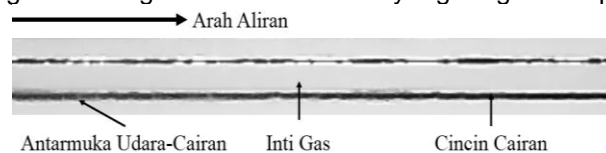
Pola ini terjadi pada saat aliran udara sudah *continue* dan sementara aliran cairan bagian bawah maupun atas saluran pipa membentuk gelombang. Lapisan cairan yang ada pada bagian atas saluran pipa biasanya cenderung lebih tipis dari bagian bawah, terbentuknya pola aliran *slug annular* akibat adanya kenaikan pada kecepatan superficial gas ( $J_G$ ). sehingga yang tadinya pola aliran *plug* yang terpotong oleh cairan kini berhasil ditembus oleh aliran udara, karena tegangan permukaan tak mampu mempertahankan bentuknya dan terbentuklah pola aliran *slug annular*.



Gambar 4. Pola aliran *slug-annular* pada  $J_G = 3$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s

#### 4.1.4 Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* seperti pola aliran *slug annular* yang memiliki gelombang kecil yang lebih banyak yang terdapat pada bagian atas dan bawah *liquid film*. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan lebih jelas aliran *annular* memiliki gelombang kecil dibagian atas dan bawah yang bergerak cepat.



Gambar 5. Pola aliran *annular* pada  $J_G = 50$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s

#### 4.1.5 Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* dapat terjadi dari transisi aliran *plug*, *slug annular*, dan *annular* aliran *churn* terjadi ketika kecepatan superficial cairan ( $J_L$ ) dan kecepatan superficial gas ( $J_G$ ) sama-sama tinggi. ketika nilai ( $J_L$ ) tinggi seharusnya pola yang terbentuk adalah pola aliran *plug* tapi karena nilai ( $J_G$ ) juga tinggi maka cairan terdispersi menjadi ukuran yang sangat kecil dengan kecepatan sangat tinggi sehingga pola yang teramati hanya terlihat bayangan hitam bergerak sangat cepat pada aliran inti gas dan disertai fluida cair. Pada aliran *churn* yang bertransisi dengan aliran *slug annular* masih tersisa gelembung yang mengganggu aliran udara, sedangkan untuk pola aliran *churn* yang bertransisi dengan pola aliran *annular* cairan akan cenderung mendatar tanpa ada gelombang.

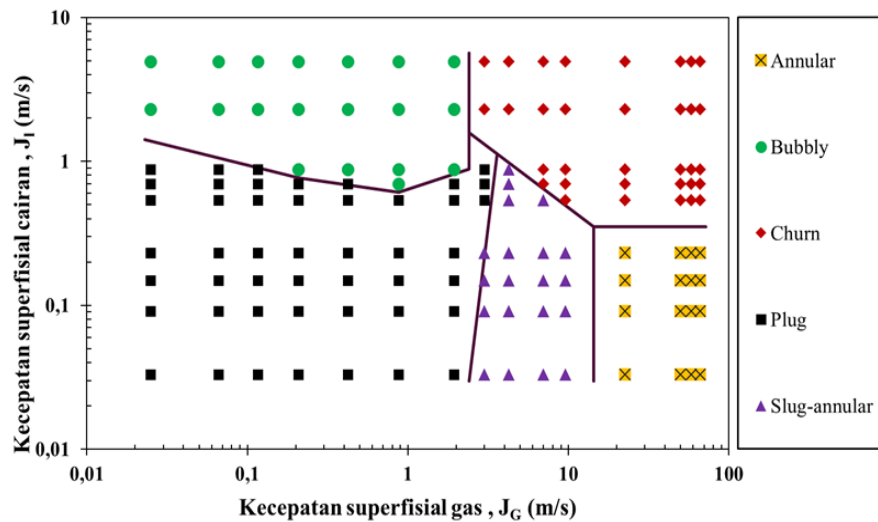


Gambar 6. Pola aliran *churn* pada  $J_G = 66,3$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

#### 4.1.6 Peta Pola Aliran

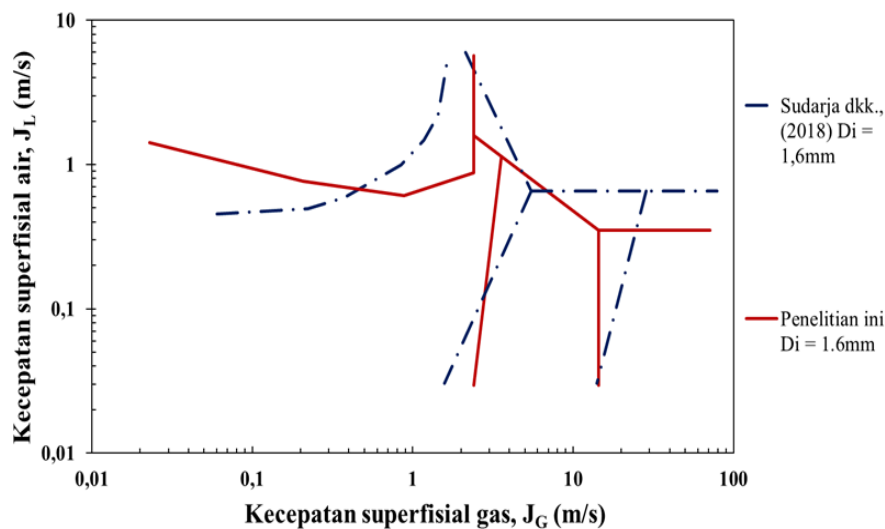
Pola aliran yang telah dijustifikasi kemudian dipetakan berdasarkan variasi kecepatan superficialnya. Pada peta pola aliran tersebut jarak titik menunjukkan kecepatan

superfisial fluida gas ( $J_G$ ) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan titik kordinat kecepatan superfisial fluida cair ( $J_L$ ) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 10. nilai pada kedua sumbu tersebut dinyatakan secara logaritmik. Pada peta pola aliran yang telah didapatkan terdapat pula garis transisi antar pola yang dimana garis transisi ini menunjukkan titik kordinat aliran manakah yang berubah antar pola aliran satu dengan pola alirannya.



Gambar 7. Peta pola aliran

#### 4.1.7 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 8. Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu

#### 4.2 Fraksi Hampa

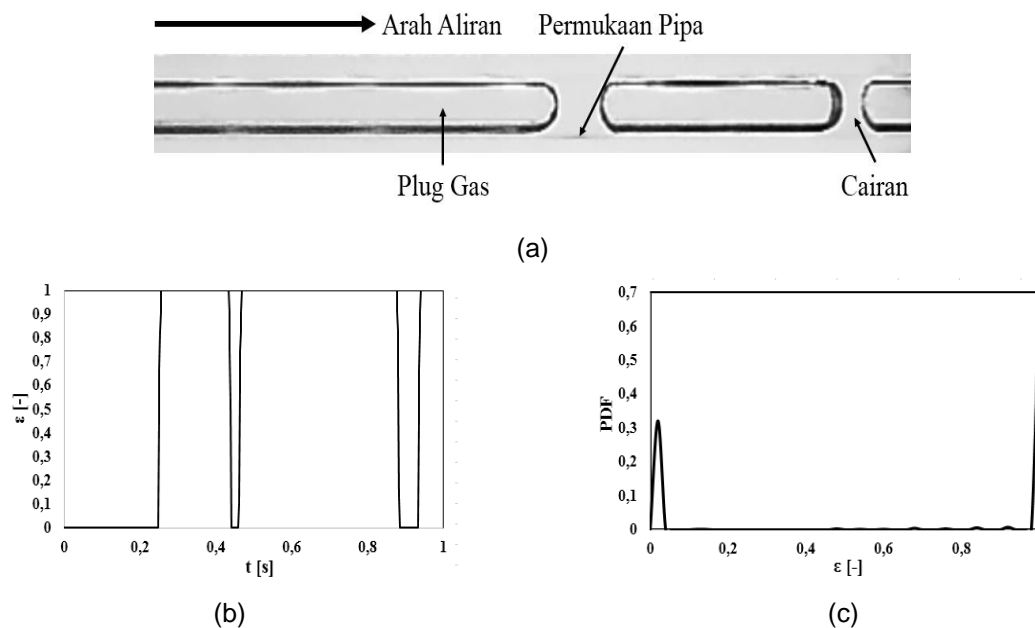
Hasil penelitian pada pipa mini dengan kemiringan  $40^\circ$  menghasilkan beberapa jenis pola aliran yang mengandung campuran butanol 3%. Dari penelitian tentang pola aliran, aliran yang terdeteksi pada kenaikan persentase butanol adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Analisa fraksi hampa dilakukan pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sebelah kiri (sisi inlet). Hasil *time-average* fraksi hampa kemudian diolah untuk



menentukan nilai *Probability Distribution Function* (PDF) sebagai fungsi  $\epsilon$  [-] (nilai fraksi hampa).

#### 4.2.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

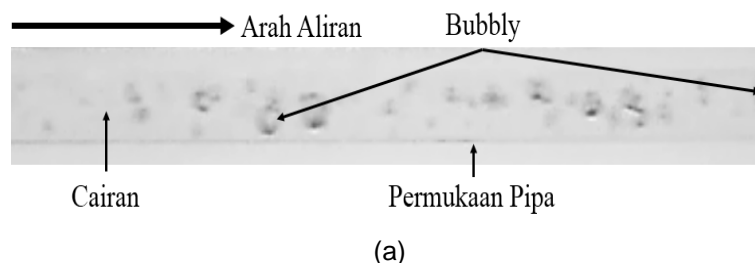
Pola aliran *plug* biasanya ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola aliran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* sama dengan diameter pipa mini. *Plug* adalah pola aliran yang berdasarkan bentuknya dikategorikan sebagai aliran *bubble* yang memanjang (*elongated bubble*).

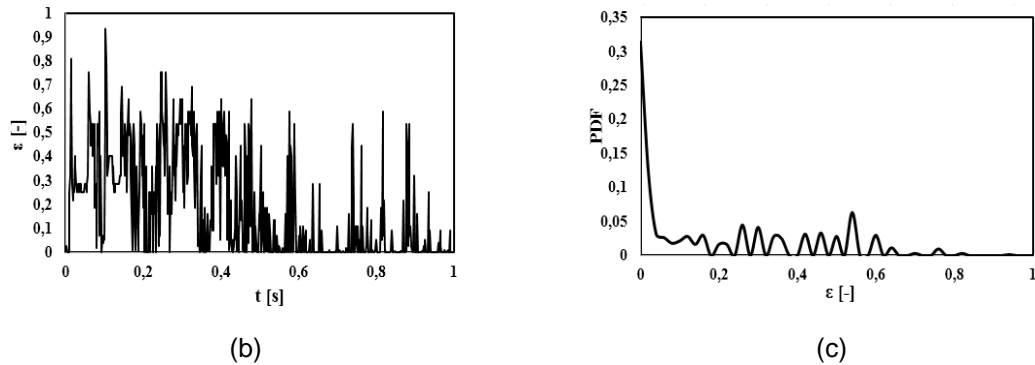


Gambar 9. (a) pola aliran fraksi hampa  $J_G = 0,025$  m/s dan  $J_L = 0,149$  m/s, (b) *time-average* fraksi hampa dan (c) PDF fraksi hampa.

#### 4.2.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

Pada pola aliran *bubbly* yang terjadi biasanya diawali dengan munculnya gelembung-gelembung udara yang berbentuk bulatan kecil yang mengambang di antara batas dinding pipa. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superficial gas ( $J_G$ ) rendah dan kecepatan superficial cairan ( $J_L$ ) tinggi.

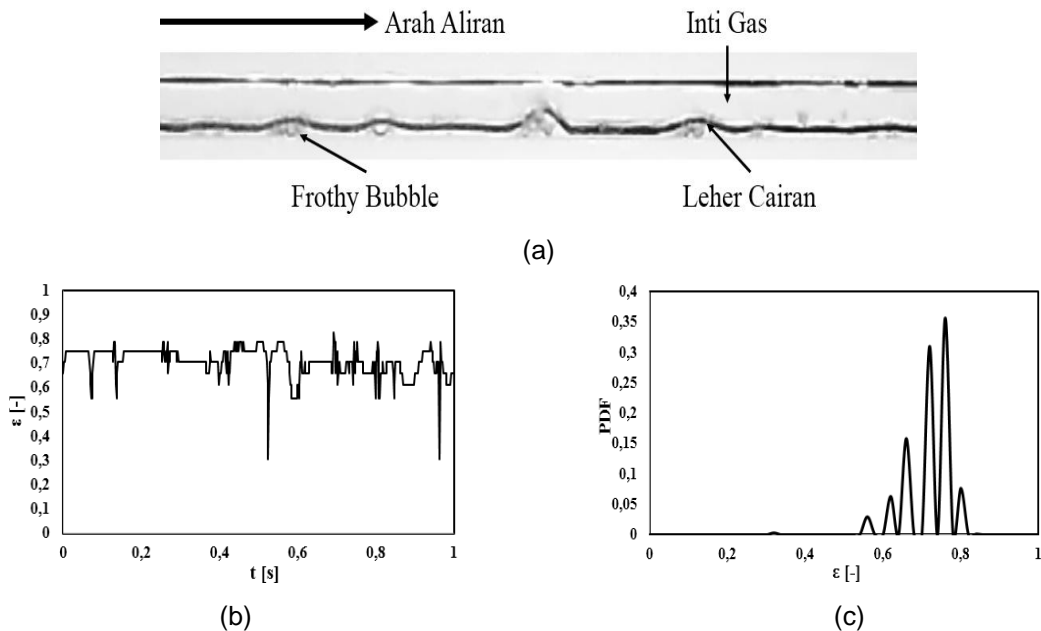




**Gambar 10.** (a) pola aliran fraksi hampa  $J_G = 0,066$  m/s dan  $J_L = 2,297$  m/s, (b) *time-average* fraksi hampa dan (c) PDF fraksi hampa.

#### 4.2.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Slug Annular*

Pola aliran *slug-annular* adalah pola transisi antara pola *plug* menjadi pola *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada titik tertentu lebih terdapat lapisan film cairan yang lebih tebal dibanding titik lainnya. Hal tersebut disebabkan karena udara pada saat  $J_G$  mengalami kenaikan maka udara akan berusaha untuk menembus jembatan cairan yang memisahkan antara udara pada aliran *plug* sehingga munculnya lapisan film cairan yang terjadi akan lebih tebal.

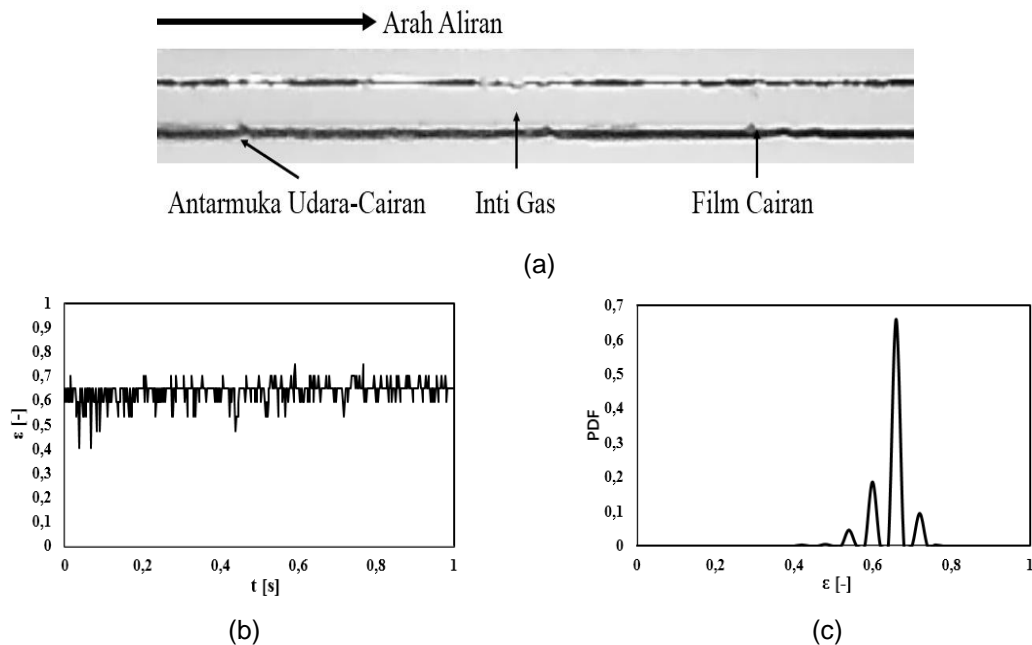


**Gambar 11.** (a) pola aliran fraksi hampa  $J_G = 7$  m/s dan  $J_L = 0,033$  m/s, (b) *time-average* fraksi hampa dan (c) PDF fraksi hampa.

#### 4.2.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* adalah pola aliran dimana kecepatan superficial gas ( $J_G$ ) yang tinggi dan kecepatan superficial cairan ( $J_L$ ) yang rendah mengakibatkan udara menembus

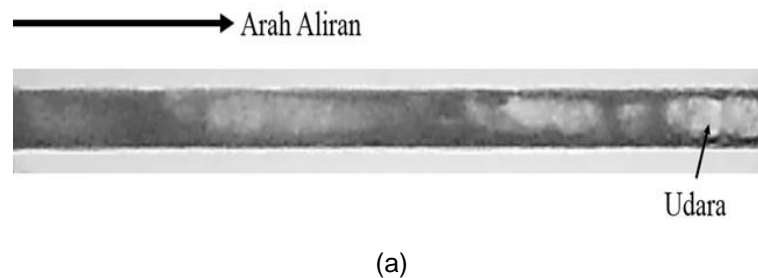
bagian dari tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi secara merata dan simetris pada bagian dinding pipa. Hal ini disebabkan oleh fase gas melewati tengah–tengah fase cair. Pola *annular* bisa juga disebut sebagai kelanjutan dari pola aliran *slug-annular*.

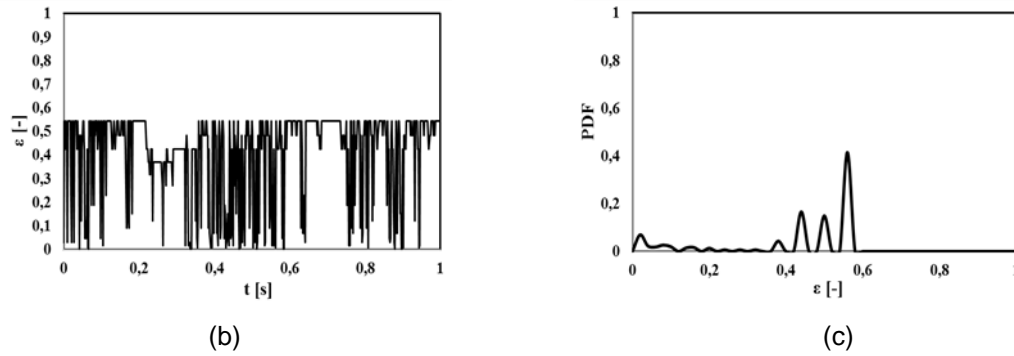


**Gambar 12.** (a) pola aliran fraksi hampa  $J_G = 50$  m/s dan  $J_L = 0,091$  m/s, (b) *time-average* fraksi hampa dan (c) PDF fraksi hampa.

#### 4.2.5 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* terbentuk ketika kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) yang sama-sama cukup tinggi dimana selisih keduanya cukup besar. Pola aliran ini termasuk kedalam bentuk jenis pola aliran yang sangat tidak stabil pada sisi ekornya, sehingga terdapat bagian bagian yang terdistorsi.



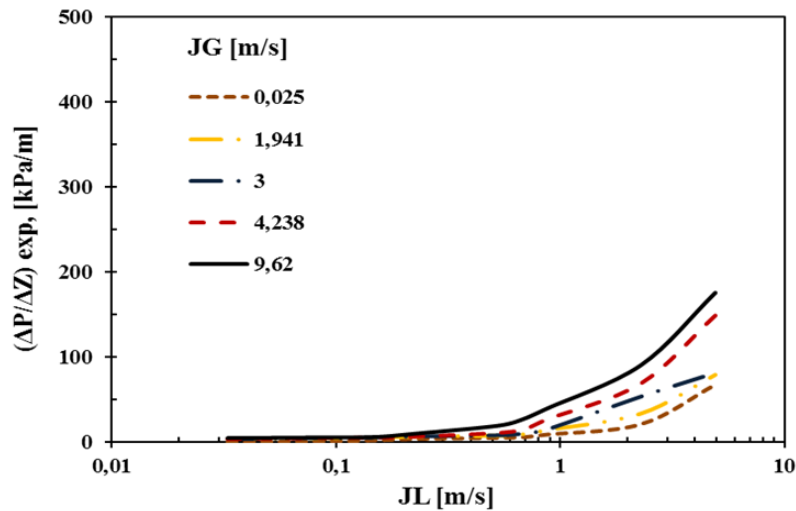


Gambar 13. (a) pola aliran fraksi hampa  $J_G = 22,6$  m/s dan  $J_L = 2,297$  m/s, (b) *time-average* fraksi hampa dan (c) PDF fraksi hampa.

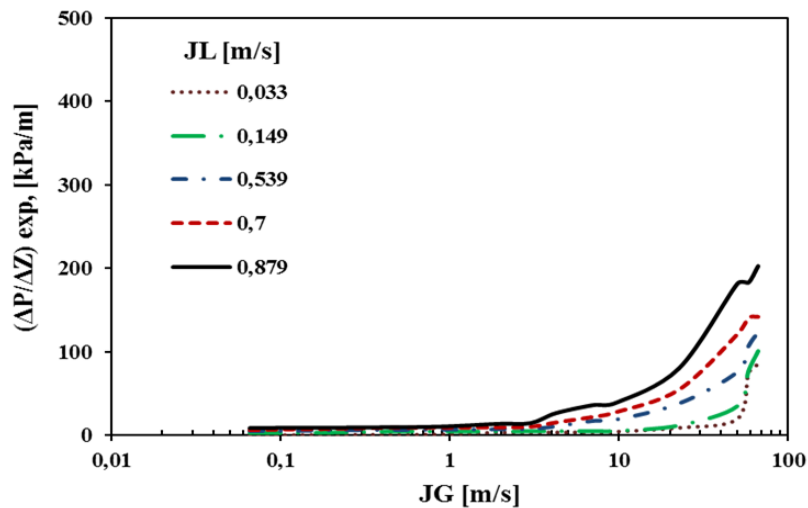
### 4.3 Gradien tekanan

Pada penelitian ini kecepatan superfisial *gas* ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ) dibuat bervariasi untuk mengetahui pengaruh yang terjadi akibat kenaikan maupun penurunan kecepatan superfisial terhadap gradien tekanan. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari perubahan kecepatan superfisial terhadap nilai gradien tekanan.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 15 dan 16 jika kecepatan superfisial *gas* ( $J_G$ ) mengalami peningkatan maka nilai dari gradien tekanan juga akan meningkat dan jika kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ) mengalami peningkatan maka nilai gradien tekanan juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena kenaikan  $J_G$  dan  $J_L$  akan menaikkan superfisial total dari aliran fluida (*total volumetric flux*) yang berpengaruh pada kenaikan gradien tekanan secara signifikan.



Gambar 14. Pengaruh  $J_L = 0,033 - 4,935$  [m/s] terhadap *pressure gradient* dengan variasi  $J_G$



**Gambar 14.** Pengaruh  $J_G = 0 - 66,3$  [m/s] terhadap *pressure gradient* dengan variasi  $J_L$

Penelitian yang dilakukan oleh Sudarja dkk., (2018) tentang aliran dua fase menggunakan pipa berdiameter 1,6mm dengan menggunakan fluida kerja udara-air dan campuran gliserin dengan konsentrasi (0%, 20%, 40% dan 60%). Kecepatan superfisial gas dan *liquid* berkisar 0,025 m/s – 66,3 m/s dan 0,033 m/s – 4,935 m/s. Sudarja dkk., (2018) memvariasikan campuran fluida kerja cairan dengan gliserin. Perbandingan peta pola aliran Sudarja dkk., (2018) terhadap penelitian ini dapat dilihat pada gambar 8. Perbedaan yang hampir serupa pada perbandingan peta pola aliran penelitian ini. Hal tersebut terjadi karena pada penelitiannya, Sudarja dkk., (2018) mengklasifikasikan pola alirannya menjadi lima yaitu *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan gaya karena tegangan permukaan yang terjadi pada pipa berukuran mini.

#### 4. Kesimpulan.

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pengolahan data didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pola aliran yang yang diamati pada penlitian di pipa kecil diameter dalam 1,6 mm dan panjang seksi uji 130 mm dengan kemiringan 40° dengan konsentrasi butanol 3% terhadap posisi horizontal dengan nilai superfisial fluida cair = 0,033 – 4,935 m/s dan superfisial fluida gas = 0,025 – 66,3 m/s yaitu: pola aliran *bubbly*, pola aliran *plug*, pola aliran *slug annular*, pola aliran *annular* dan pola aliran *churn*.
2. Perbandingan peta pola aliran dari penelitian ini dan yang dilakukan oleh beberapa orang studi sebelumnya menunjukkan bahwa semua peta hanya setuju dengan itu Triplett dkk. (1999) termasuk pola aliran yang diamati.
3. Semakin tinggi kecepatan superfisial gas maka nilai fraksi hampa yang diperoleh akan semakin meningkat, sebaliknya semakin tinggi kecepatan superfisial liquid maka nilai fraksi hampa yang diperoleh akan semakin menurun.
4. Kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial cair ( $J_L$ ) sangat mempengaruhi nilai gradien tekanan yang didapatkan dari hasil penelitian, semakin tinggi nilai  $J_G$  dan  $J_L$  maka nilai gradien tekanan akan semakin naik. Nilai tegangan permukaan, viskositas cairan dan sudut kemiringan sangat mempengaruhi terhadap nilai gradien tekanan.

### Daftar Pustaka

- Barnea, D., Luninski, Y., & Taitel, Y. (1983). Flow pattern in horizontal and vertical two phase flow in small diameter pipes. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 61(5), 617–620. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450610501>
- Chung, P. M.-Y., & Kawaji, M. (2004). The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannels. *International Journal of Multiphase Flow*, 30(7–8), 735–761. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2004.05.002>
- 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*, 28(9), 1411–1435. [https://doi.org/10.1016/S0301-9322\(02\)00037-X](https://doi.org/10.1016/S0301-9322(02)00037-X)
- Li, H.-W., Zhou, Y.-L., Hou, Y.-D., Sun, B., & Yang, Y. (2014). Flow pattern map and time–frequency spectrum characteristics of nitrogen–water two-phase flow in small vertical upward noncircular channels. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 54, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2014.01.017>
- Pehlivan, K., Hassan, I., & Vaillancourt, M. (2006). Experimental study on two-phase flow and pressure drop in millimeter-size channels. *Applied Thermal Engineering*, 26(14–15), 1506–1514. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.12.010>
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, Gutama, A., 2015, Studi Eksperimental Mengenai Pola Aliran dan Fraksi Hampa pada Aliran Gas-Cairan dalam Pipa Berukuran Mini, *Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri*, 21, 57–62.
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, & Haq, A. (2016). *Experimental study on the void fraction of air-water two-phase flow in a horizontal circular minichannel*. 040014. <https://doi.org/10.1063/1.4949302>
- 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*. 030010. <https://doi.org/10.1063/1.5049982>
- Sukamta, S., Ilham, A. R., & Sudarja, S. (2019). THE INVESTIGATION OF VOID FRACTION OF TWO-PHASE FLOW AIR-WATER AND GLYCERINE (0-30%) IN THE CAPILLARY PIPE WITH SLOPE OF 5° TO HORIZONTAL POSITION. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 20(1), 8–17. <https://doi.org/10.23917/mesin.v20i1.7385>
- 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*, 18.