

## KAJIAN EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE UDARA-AIR CAMPURAN BUTANOL 5% PADA SALURAN KECIL POSISI KEMIRINGAN 40°

Dimas<sup>a</sup>, Sudarja<sup>b</sup>, Sukamta<sup>c</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

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

---

### Abstrak

Fase (phase) adalah kondisi atau bentuk atau wujud dari suatu zat, yang dapat berupa padat, cair, atau gas. Aliran dua fase adalah salah satu bagian dari aliran multifase, yang mana aliran multi fase merupakan aliran yang memiliki beberapa fase yang mengalir secara bersamaan. Saat ini aliran dua fase sudah banyak dijumpai di kehidupan sehari-hari maupun di bidang industri seperti pada sistem perpipaan dan otomotif.

Eksperimental menggunakan pipa kaca berdiameter 1,6 mm dengan kemiringan 40° pada posisi horizontal, cairan yang digunakan pada penelitian ini akuades dan tambahan butanol 5% dengan variasi kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) 0 – 66,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) 0,33 – 4,935.

Hasil dari penelitian ini didapatkan lima pola aliran yaitu plug, bubbly, slug-annular, annular, dan churn. Dari peta pola aliran yang didapat menunjukkan bahwa pola aliran plug lebih mendominasi pada penelitian ini. Pada fraksi hampa hasil yang diperoleh dari aliran bubbly cenderung mengalami fluktuasi akibat dari ukuran bubbly yang bervariasi, pada pola aliran plug nilai fraksi mencapai nilai 1 dikarenakan long plug yang memenuhi pipa dibagian seksi uji, pada aliran slug-annular terjadi penurunan nilai fraksi hampa dikarenakan liquid neck yang muncul pada titik tertentu, nilai fraksi hampa pada aliran annular cenderung stabil karena tidak terjadi penurunan dan kenaikan yang terlalu banyak, dan pada pola aliran churn nilai fraksi hampanya memiliki nilai yang tidak teratur. Pada gradien tekanan 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.

Kata kunci: dua fase, pipa mini, kecepatan superfisial, pola aliran, fraksi hampa, gradien tekanan.

### **Abstrak**

*Phase is the condition or form or form of a substance, which can be solid, liquid, or gas. Two-phase flow is one part of multiphase flow, where multi-phase flow is a flow that has several phases that flow simultaneously. At present the two-phase flow has often been found in daily life and in industry such as in piping and automotive systems.*

*Experimentally using a 1.6 mm diameter glass pipe with a slope of 100 in the horizontal position, the liquid used in this study was distilled water and 5% added butanol with variations in the superficial gas velocity ( $J_G$ ) 0 - 66.3 m / s and the velocity superficial fluid ( $J_L$ ) 0.033 - 4.935.*

*The result of this study found five formed flow patterns namely, plug, bubbly, slug-annular, annular, and churn. The flow pattern map obtained shows that the churn and plug flow patterns dominate in this study. In the vacuum fraction the results obtained from the bubbly flow tend to fluctuate due to the varying size of the bubbly, in the pattern of plug flow the fraction value reaches a value of 1 due to the long plug that fills the pipe in the test section section, in the slug-annular flow a hollow fraction decreases due to liquid neck that appears at a certain point, the value of the empty fraction in the annular flow tends to be stable because there is not too much decrease and increase, and in the churn flow pattern the value of the vacuum fraction has an irregular value. In the pressure gradient the superficial gas velocity ( $J_G$ ) and the liquid superficial velocity ( $J_L$ ) greatly affect the pressure gradient value obtained from the results of the study, the higher the  $J_G$  and  $J_L$  values, the pressure gradient value will increase.*

*Keywords: two phases, mini pipe, superficial velocity, flow pattern, 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 dua fase adalah salah satu bagian dari aliran multifase, yang mana aliran multi fase merupakan aliran yang memiliki beberapa fase yang mengalir secara bersamaan. Saat ini aliran dua fase sudah banyak dijumpai di kehidupan sehari-hari maupun di bidang industri seperti pada sistem perpipaan dan otomotif.

Aliran dua fase mempunyai berbagai macam campuran, dan dapat di klasifikasikan menjadi campuran (gas-padat, gas-cair, dan cair-padat), arah aliran (searah dan berlawanan) dan kedudukan saluran (tegak, mendatar atau miring). Aliran dua fase memiliki fenomena yang sangat kompleks di bandingkan aliran satu fase, pada aliran dua fase terdapat interaksi antara fase, pengaruh deformasi permukaan dan pergerakan antar fluida, pengaruh keseimbangan fase dan perubahan pola aliran.

Dalam penelitian aliran dua fase terdapat beberapa parameter dasar yang penting untuk di teliti. Parameter dasar tersebut yaitu: pola aliran, fraksi hampa dan gradien tekanan. Serizawa dkk., (2015) dan Triplett dkk., (1999) berpendapat bahwa karakteristik aliran dua fase pada pipa berukuran mini sangat tergantung terhadap tegangan permukaan. Hal lain yang mempengaruhi karakteristik aliran dua fase juga terdapat pada variasi kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan ( $J_L$ ) kecepatan superfisial cairan.

Sudarja dkk., (2018) melakukan penelitian aliran dua fase menggunakan pipa berdiameter 1,6 mm. fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah udara dan campuran akuades-gliserin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari viskositas. Namun, penelitiannya tidak membahas mengenai pengaruh tegangan permukaan terhadap karakteristik aliran dua fase.

Penelitian aliran dua fase pada saluran berukuran mini menggunakan fluida kerja udara dan air menurut pendapat penulis sudah sering dilakukan. Namun, studi aliran dua fase pada saluran mini dengan menggunakan fluida kerja berupa udara dan air sudah tidak banyak dipakai lagi. Seiring berkembangnya teknologi perlu dilakukan riset untuk meningkatkan performa suatu alat dibutuhkan pengembangan cairan baru yang pada umumnya memiliki tegangan permukaan yang lebih kecil dari pada air. Setyawan dkk., (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh dari sifat fisik cairan terhadap kecepatan dan frekuensi gelombang aliran *annular* pada aliran dua fase udara air dan butanol dengan variasi tegangan permukaan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan fluida kerja udara, campuran air butanol 5% pada pipa berukuran mini dengan kemiringan  $40^\circ$  dengan posisi horizontal untuk lebih memahami dari penelitian sebelumnya.

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 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.

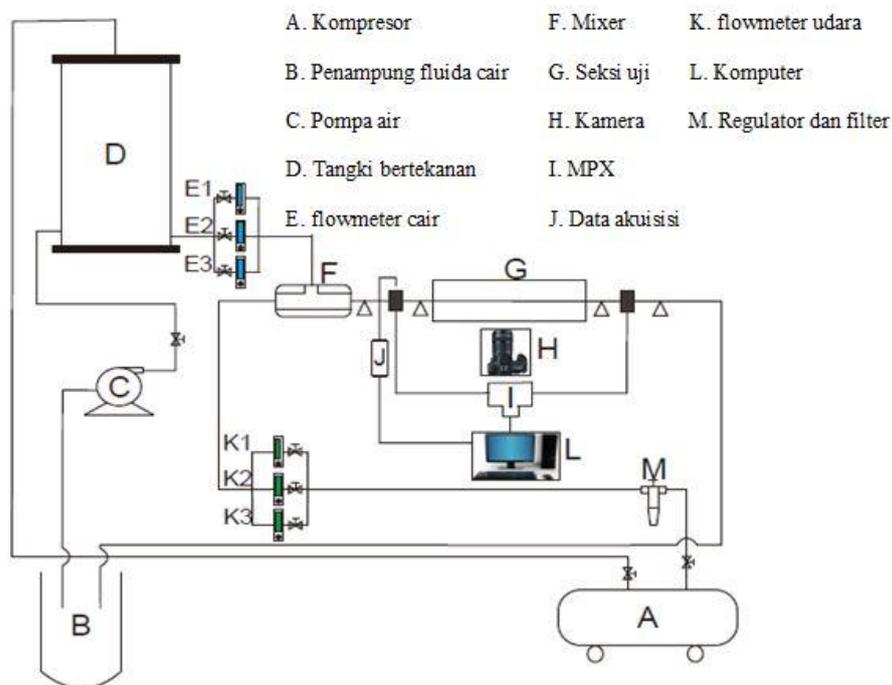
Dari uraian di atas, maka peneliti mengenai aliran dua fase gas-cairan pada pipa berukuran mini sangat penting untuk memberikan informasi, database, dan metode yang tepat melakukan analisa aliran dua fase melalui pipa mini. dan menarik untuk dilakukan ditinjau dari sisi akademis dan praktis.

## 2. 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 air dan butanol 5% 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

### 2.1. 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.

### 2.2. 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 *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*.

### 2.3. 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.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pola Aliran

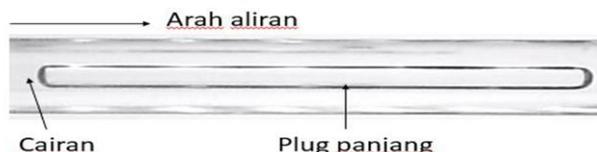
Dari hasil penelitian aliran dua fasa pada pipa mini dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan kemiringan 40° dengan fluida kerja berupa campuran udara-aquades dan butanol 5% telah didapatkan jenis pola aliran yaitu : plug, bubbly, slug annular, annular dan churn. Dengan mengatur debit fluida gas ( $J_G$ ) dan debit fluida cair ( $J_L$ ) selanjutnya dilakukan pengambilan data yang diperoleh berupa video kemudian diidentifikasi pola aliran yang terdapat pada video yang telah diambil sebelumnya.

##### 3.1.1 Pola Aliran Plug

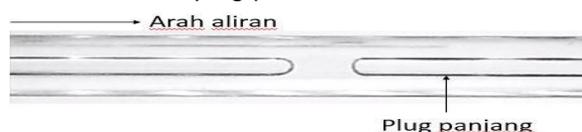
Pola aliran plug hampir sama dengan pola aliran bubbly bedanya pola aliran plug bentuknya memanjang seperti kapsul atau peluru. Pola aliran plug ditemukan pada saat kecepatan superficial gas cukup besar menembus suatu aliran fluida cair tapi tidak cukup besar untuk menerobos aliran fluida cair. Pola aliran plug terjadi saat nilai  $J_G$  lebih besar dibandingkan nilai  $J_L$  yang lebih rendah, bentuk pola aliran plug dipengaruhi dari kecepatan superficial gas dan kecepatan superficial liquid, semakin besar nilai kecepatan superficial gas pola aliran plug menjadi semakin panjang sedangkan nilai kecepatan superficial liquid semakin besar aliran plug semakin pendek karena volume liquid lebih banyak dari udara yang masuk ke mixer maka udara yang masuk mulai tertekan oleh liquid..



Gambar 3. Pola aliran *plug* pada  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s



Gambar 4. Pola aliran *plug* pada  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,0149$  m/s



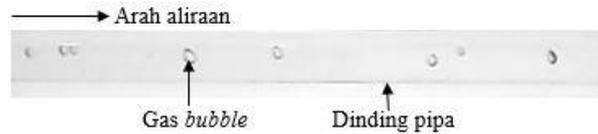
Gambar 5. Pola aliran *plug* pada  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,0232$  m/s

##### 3.1.2 Pola Aliran Bubbly

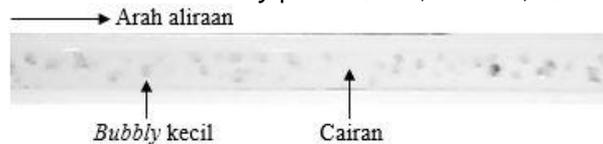
Terbentuknya pola aliran bubbly terbentuk ketika nilai kecepatan superficial udara lebih rendah dari kecepatan superficial cairan. Dengan debit air yang lebih besar daripada debit gas menyebabkan cairan di area mixer menumpuk, bubbly muncul ketika gas yang terkumpul dibagian atas dari mixer menerobos 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.

Pola bubbly yang berhasil diamati pada penelitian ini terkadang masih bercampur dengan aliran plug, kemunculan pola aliran seperti ini adalah ketika koordinat aliran bubbly berada setelah nilai koordinat aliran plug. Munculnya aliran bubbly penuh tanpa adanya aliran plug, hanya ketika nilai superficial cairan tinggi, namun bentuk dari aliran yang muncul semakin tidak beraturan dan memiliki kecepatan yang tinggi. Dengan

ditingkatkannya kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial udara aliran bubbly maka intensitas kemunculan bubbly semakin tinggi dan jarak antar bubbly semakin beragam. Debit fluida yang semakin membesar mengakibatkan fluida sulit ditembus oleh udara, sehingga gelembung menumpuk pada mixer. Ketika udara yang terkumpul sudah makin banyak dan kuat untuk mendorong fluida cair, aliran plug muncul terlebih dahulu yang diikuti aliran bubbly yang banyak.



Gambar 6. Pola aliran *bubbly* pada  $J_G = 0,116$  m/s,  $J_L = 0,879$  m/s



Gambar 7. Pola aliran *bubbly* pada  $J_G = 0,116$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

### 3.1.3 Pola Aliran *Slug-annular*

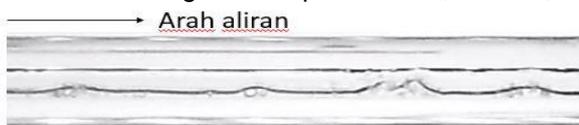
Pola aliran slug annular terbentuk ketika nilai  $J_G$  berada di antara garis transisi setelah munculnya aliran plug dan sebelum munculnya aliran annular, sedangkan untuk nilai  $J_L$ nya berbatasan dengan aliran plug dan churn. Pola aliran slug annular memiliki aliran air yang bergelombang pada bagian atas dan bagian bawah dari saluran. Terbentuknya pola aliran slug annular ketika kecepatan superfisial udara naik menyebabkan pola aliran plug yang terpisah oleh air berhasil diterobos oleh udara sehingga terbentuk aliran slug annular.



Gambar 8. Pola aliran *slug-annular* pada  $J_G = 4,238$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s



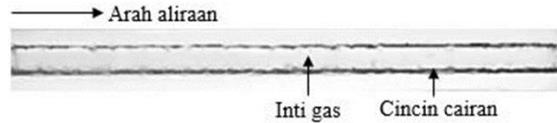
Gambar 9. Pola aliran *slug-annular* pada  $J_G = 4,238$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s



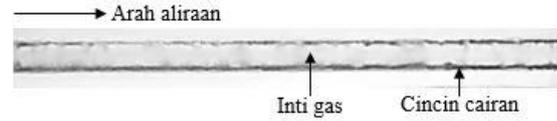
Gambar 10. Pola aliran *slug-annular* pada  $J_G = 4,238$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s

### 3.1.4 Pola Aliran *Annular*

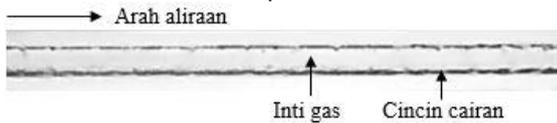
Pola aliran annular hampir sama seperti pola aliran slug annular, memiliki gelombang kecil yang lebih banyak sehingga terlihat seperti aliran air yang tenang. Hal ini disebabkan oleh kecepatan superfisial gas yang lebih besar dibandingkan kecepatan superfisial air. Konsentrasi fluida air dan gas yg cukup besar maka terjadi aliran gas yang mengalir di tengah lapisan air yang tipis di sepanjang saluran dinding pipa.



Gambar 11. Pola aliran *annular* pada  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s



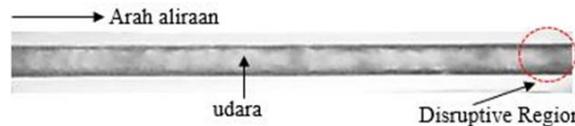
Gambar 12. Pola aliran *annular* pada  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s



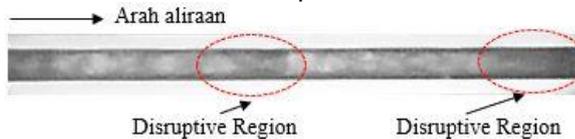
Gambar 13. Pola aliran *annular* pada  $J_G = 58,05$  m/s,  $J_L = 0,149$  m/s

### 3.1.5 Pola Aliran Churn

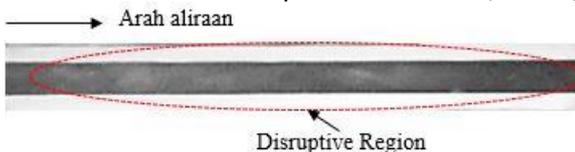
Pola aliran churn terjadi akibat kecepatan superficial gas dan cairan tinggi. Pola aliran churn ditandai dengan kabut hitam yang muncul akibat dari aliran cairan yang terdispersi menjadi butiran halus, pada pola aliran churn juga banyak dijumpai pola aliran plug panjang yang mana pada bagian ekor plug terdispersi karna adanya  $J_G$  dan  $J_L$  yang tinggi.



Gambar 14. Pola aliran *churn* pada  $J_G = 50$  m/s,  $J_L = 0,7$  m/s



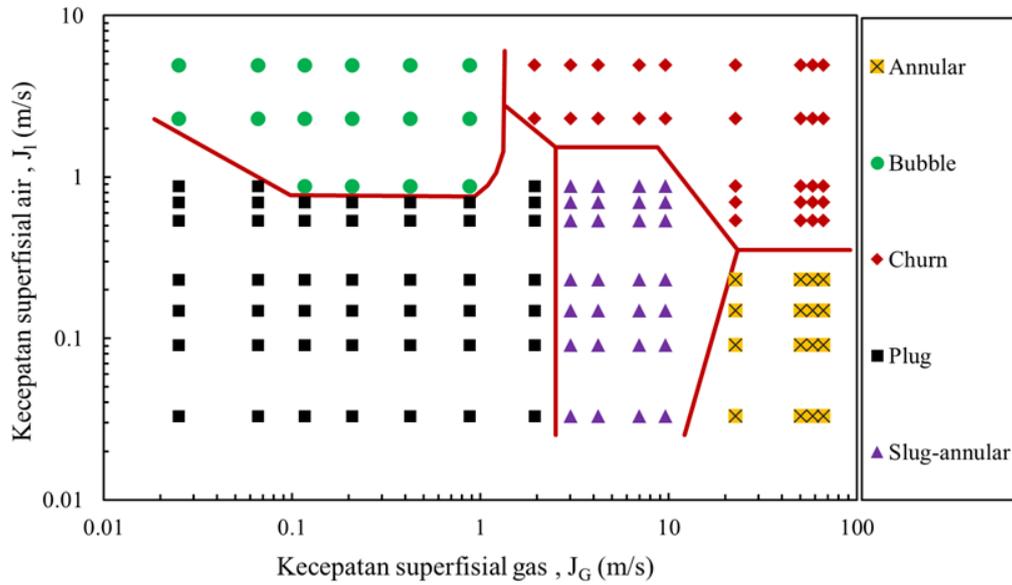
Gambar 15. Pola aliran *churn* pada  $J_G = 50$  m/s,  $J_L = 0,879$  m/s



Gambar 16. Pola aliran *churn* pada  $J_G = 50$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

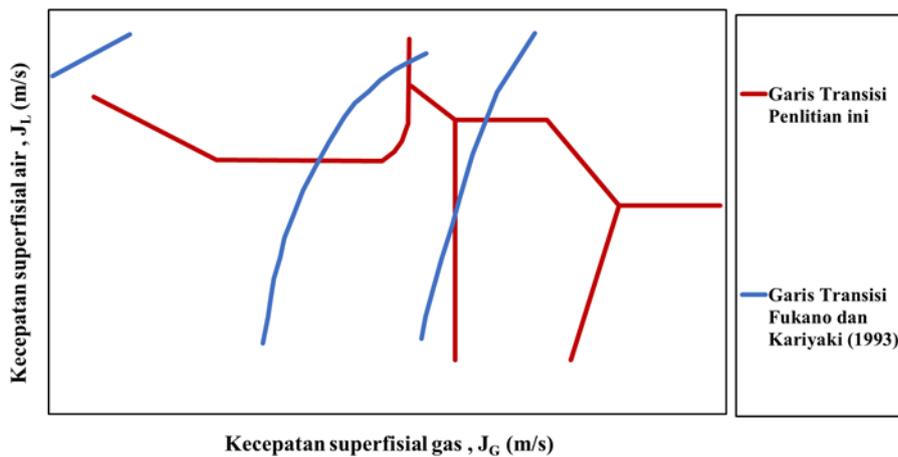
### 3.1.6 Peta Pola Aliran

Pola aliran yang telah diamati dan diidentifikasi selanjutnya dimasukkan ke dalam sebuah peta pola aliran. Sumbu pada peta pola aliran menggunakan kecepatan superficial gas pada sumbu x, sedangkan sumbu y menggunakan kecepatan superficial cair. Nilai minimum sumbu-x yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan untuk nilai minimum sumbu-y yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 10. Pada peta aliran dapat ditentukan daerah transisi dan analisis mengenai daerah transisi yang terjadi. Berikut gambar peta pola aliran terdapat pada Gambar 17..



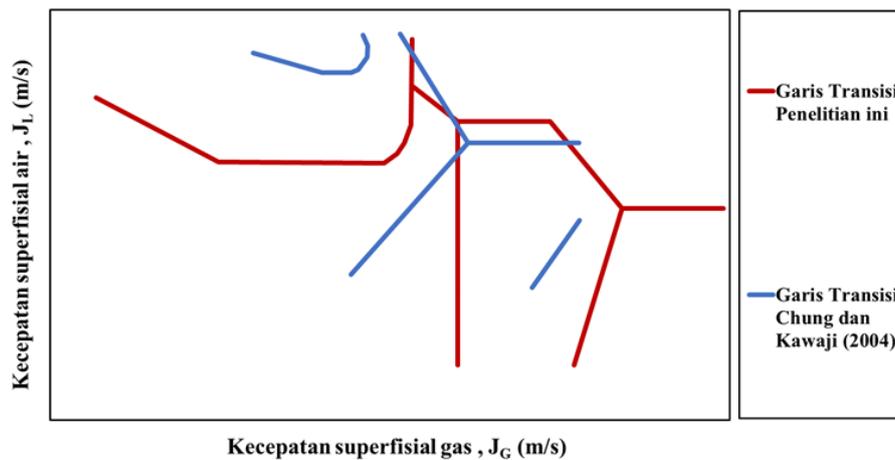
Gambar 17. Peta pola aliran

### 3.1.7 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 18. Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu

Fukano dan Kariyaki. (1993) melakukan penelitian tentang aliran dua fase menggunakan tiga variasi saluran yaitu 1 mm, 2,4 mm dan 4,9 mm dengan menggunakan fluida kerja air dan udara. Selain itu parameter yang dibahas pada penelitiannya adalah orientasi saluran. Fukano dan Kariyaki (1993) memvariasikan salurannya menjadi tiga arah yaitu horizontal, vertikal ke bawah dan vertikal ke atas. Perbandingan peta pola aliran Fukano dan Kariyaki (1993) terhadap butanol 5% dapat dilihat pada Gambar 18. perbedaan terlihat pada perbandingan peta pola aliran ini. Hal tersebut terjadi karena pada penelitiannya Fukano dan Kariyaki (1993) mengklasifikasikan pola alirannya menjadi tiga yaitu bubbly, intermittent dan annular. Garis transisi intermittent/annular Fukano dan Kariyaki (1993) hampir sejajar dengan garis transisi plug/slugannular penelitian ini. Namun, garis transisi intermittent/annular muncul pada nilai  $J_G$  yang lebih kecil. Pola aliran bubbly yang muncul pada penelitian Fukano dan Kariyaki (1993) sangat sedikit bahkan bubbly kecil tidak muncul pada aliran plug. Oleh karena itu, garis transisi bubbly/plug Fukano dan Kariyaki (1993) sangat berbeda dengan butanol 5%.



Gambar 19. Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu

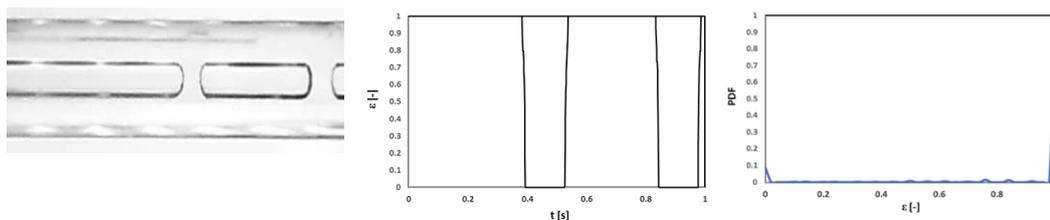
Peta pola aliran yang dihasilkan pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) juga hampir menyerupai dengan peta pola aliran penelitian ini. Penelitian yang dilakukan Chung dan Kawaji (2004) membahas tentang pengaruh diameter saluran pipa terhadap karakteristik aliran dua fase. Pola aliran yang berhasil diamati yaitu bubbly, slug, churn, slug-annular dan annular. Gambar 19 menunjukkan bubbly yang terbentuk pada penelitiannya memiliki jumlah yang sedikit terlihat dari garis transisi antara bubbly/plug memiliki luas yang lebih kecil dibandingkan dengan garis transisi penelitian ini. Garis transisi antara pola plug/churn yang terbentuk pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) hampir menyerupai garis transisi penelitian ini. Selain itu, perbedaan terlihat pada garis transisi churn/slug-annular yang sejajar dengan garis transisi. Namun, garis transisi churn/slug-annular Chung dan Kawaji (2004) muncul pada nilai  $J_L$  yang lebih tinggi dari kedua garis transisi churn/slug-annular lainnya.

### 3.2 Fraksi Hampa

Penelitian fraksi hampa dilakukan pada pipa mini berukuran 1,6 mm pada kemiringan 400 dengan campuran fluida cair akuades dan butanol 5%. Pada penelitian ini didapatkan dari pengolahan data pola aliran yang berhasil didapatkan dari pembahasan sebelumnya yaitu plug, bubbly, slug-annular, annular dan churn. Pola aliran yang didapat kemudian diproses menggunakan image processing pada posisi 26 pixel (6,879 mm) dari sisi inlet yang kemudian menghasilkan time-average. Kemudian digunakan untuk mengetahui nilai Probability Distribution Function (PDF) dengan fungsi fraksi hampa ( $\epsilon [-]$ ).

#### 3.2.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran Plug

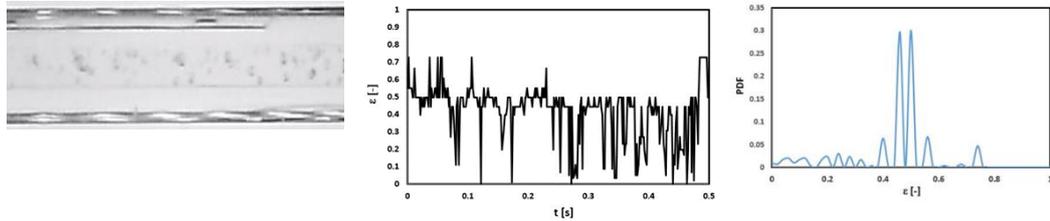
Pola aliran plug pada saluran mini muncul ketika nilai  $J_G$  dan nilai  $J_L$  sama-sama rendah munculnya pola aliran plug ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung udara pada dinding pipa dengan ukuran yang bervariasi. Plug merupakan pola aliran bubbly yang memanjang (elongated bubbly) yang disebabkan meningkatnya intensitas udara pada aliran.



Gambar 20. Pola aliran *plug*, time average, dan PDF pada  $J_G = 0,207$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s

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

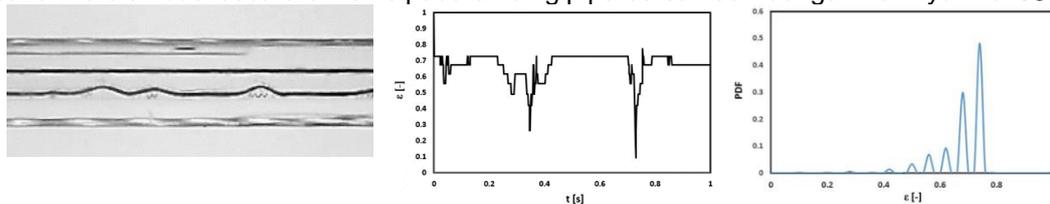
Pola aliran bubbly muncul ketika nilai  $J_G$  rendah dan nilai  $J_L$  tinggi. Munculnya pola aliran bubbly diawali dengan keluarnya gelembung-gelembung udara dengan diameter sama dengan diameter dalam pipa atau lebih kecil dari diameter pipa. Semakin naik nilai  $J_L$  yang dipakai maka semakin banyak bubbly yang keluar namun ukurannya semakin kecil di bandingkan pada saat  $J_L$  rendah.



Gambar 21. Pola aliran *bubbly*, time average dan PDF pada  $J_G = 0,423$  m/s,  $J_L = 2,297$  m/s

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

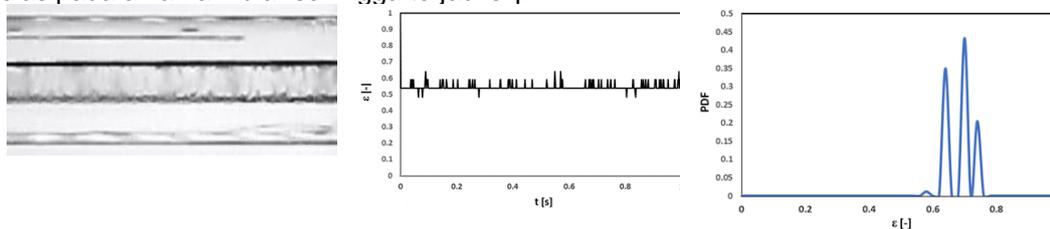
Pola aliran slug-annular terjadi dikarenakan naiknya nilai  $J_G$  sehingga debit udara yang meningkat mampu menembus water bridge dan membentuk leher cairan pada aliran. Pola aliran slug-annular merupakan transisi dari pola aliran plug menjadi annular yaitu fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa bersamaan dengan naiknya nilai  $J_G$ .



Gambar 22. Pola aliran *slug annular*, time average, dan PDF pada  $J_G = 3$  m/s,  $J_L = 0,033$  m/s

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

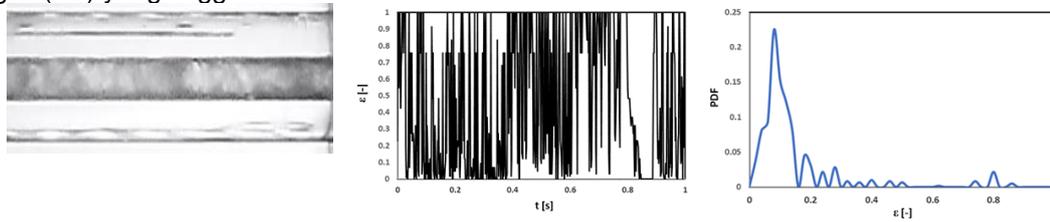
Meningkatnya nilai  $J_G$  dan  $J_L$  secara konstan pola aliran slug-annular akan berubah menjadi pola aliran annular. Pengaruh dari  $J_G$  dan  $J_L$  yang meningkat secara konstan maka aliran udara mampu mengalir di tengah pipa sebagai gas inti, sedangkan aliran cairan mengalir pada dinding pipa sebagai film cairan. Perbedaan nilai superficial sangat terlihat jelas pada aliran annular sehingga terjadi slip.



Gambar 23. Pola aliran *annular*, time average, dan PDF pada  $J_G = 7$  m/s,  $J_L = 0,091$  m/s

### 3.2.5 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran Churn

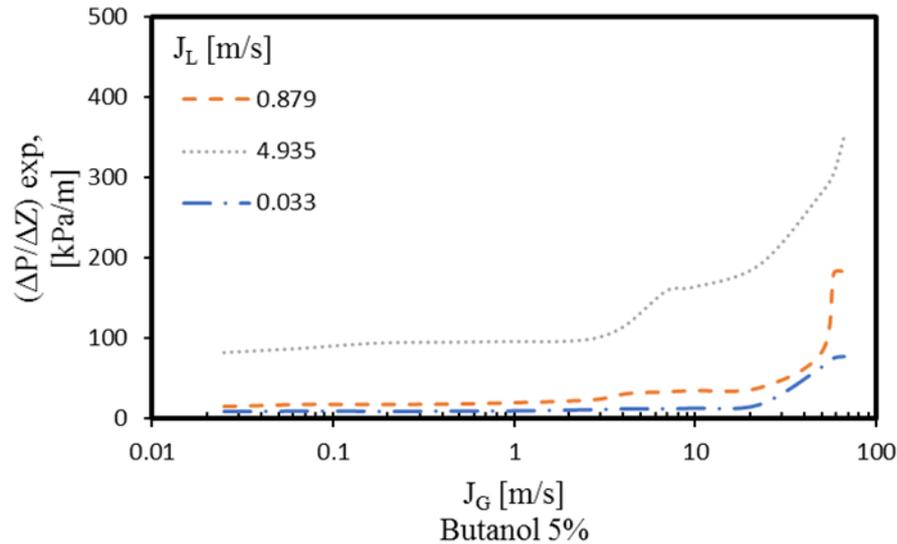
Pola aliran churn terbentuk saat nilai  $J_G$  dan  $J_L$  sama-sama tinggi. Pola aliran churn mengalami ketidakstabilan pada ekor pola ditandai dengan kabut hitam yang muncul akibat dari aliran cairan yang terdistorsi menjadi butiran halus karena nilai kecepatan superficial gas ( $J_G$ ) yang tinggi.



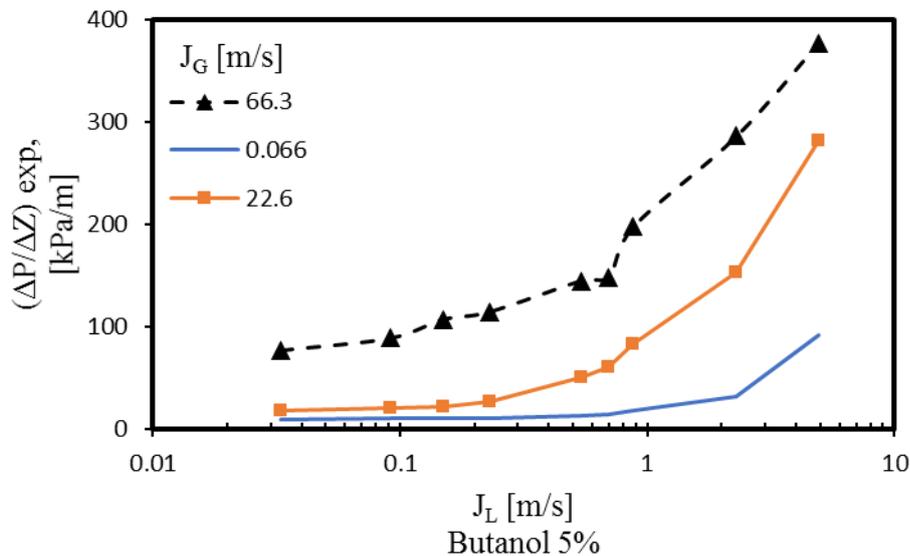
Gambar 24. Pola aliran *churn*, time average, dan PDF pada  $J_G = 58,05$  m/s dan  $J_L = 0,879$  m/s

### 3.3 Gradien tekanan

Kajian eksperimental karakteristik gradien tekanan dilakukan menggunakan pipa berdiameter dalam 1,6 mm. Gradien tekanan didapatkan dengan menghitung penurunan tekanan per satuan panjang. Dilakukan variasi nilai  $J_G$  dan  $J_L$  untuk mengetahui pengaruh kecepatan superfisial fluida terhadap gradien tekanan..



Gambar 25. Pengaruh  $J_G$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$ ,



Gambar 26. Pengaruh  $J_L$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$ ,

## 4. Kesimpulan

### 4.1. Pola Aliran dan Peta Pola Aliran

Terdapat lima pola aliran yang berhasil diamati pada penelitian ini yaitu: pola aliran plug, pola aliran bubbly, pola aliran slug-annular, pola aliran annular dan pola aliran churn.

Munculnya pola aliran plug pada penelitian ini terjadi pada superfisial gas ( $J_G$ ) 0,025 dan superfisial cairan ( $J_L$ ) 0,033, bubbly pada  $J_G$  0,025 dan  $J_L$  0,879, slug-annular pada  $J_G$  1,941 dan  $J_L$  0,033, annular pada  $J_G$  22,6 dan  $J_L$  0,033, dan churn pada  $J_G$  0,871 dan  $J_L$  0,879.

Meningkatnya nilai  $J_L$  pada pola aliran plug menyebabkan plug semakin pendek dan jarak hidung plug dan ekor plug semakin berjauhan.

Meningkatnya nilai  $J_G$  dan  $J_L$  pada pola aliran bubbly menyebabkan bubbly yang terbentuk semakin banyak dan mengecil

Meningkatnya nilai  $J_L$  pada pola aliran slug-annular menyebabkan lapisan fluida cair semakin menebal dan ukuran leher cairan atau liquid neck semakin meningkat.

Gelombang yang terbentuk pada aliran annular akan terus bertambah bersamaan dengan meningkatnya nilai  $J_L$ . Sementara itu, meningkatnya nilai  $J_G$  berpengaruh pada semakin kecilnya gelombang cairan yang terbentuk.

Meningkatnya nilai  $J_L$  pada pola aliran churn menyebabkan bayangan hitam atau distorsi yang terbentuk akan semakin menebal, sedangkan meningkatnya nilai  $J_G$  menyebabkan distorsi yang muncul akan semakin banyak.

Dari hasil penelitian pola aliran yang mendominasi yaitu pola aliran churn dan plug

Perbandingan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Fukano dan Kariyaki (1993) hasilnya tidak sama dikarenakan mereka melakukan pengujian pada posisi vertikal sedangkan penelitian ini dilakukan dengan posisi horizontal.

#### 4.2. Fraksi Hampa

Nilai fraksi hampa pada pola aliran bubbly tidak teratur dan cenderung mengalami fluktuasi akibat dari ukuran bubbly yang bervariasi.

Pada pola aliran plug nilai fraksi hampa sampai mencapai nilai 1 dikarenakan long plug yang memenuhi pipa dibagian seksi uji.

Pada pola aliran slug-annular terjadi penurunan nilai fraksi hampa, hal tersebut disebabkan oleh liquid neck yang muncul pada titik tertentu.

Nilai fraksi hampa pada pola aliran annular biasanya cenderung stabil, karena tidak terjadi penurunan dan kenaikan yang terlalu signifikan.

Pada pola aliran churn nilai fraksi hampanya memiliki nilai yang fluktuatif.

#### 4.3. Gradien Tekanan

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.

#### Daftar Pustaka

Journal:

- [1] Chung, P.M.Y., Kawaji, M., 2004, The Effect of Channel Diameter on Adiabatic Two-Phase Flow Characteristics in Microchannel, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 30, pp. 735-761.
- [2] Fukano T., Kariyasaki A. Characteristics of gas-liquid two-phase flow in a capillary tube [J]. *Nuclear Engineering and Design*, 1993, 141(1-2): 59-68.
- [3] Setyawan, A., Indarto, Deendarlianto, 2016, The effect of the fluid properties on the wave velocity and wave frequency of gas-liquid annular two-phase flow in a horizontal pipe. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 71, pp. 25-41.
- [4] Sudarja., Aqli Haq., Deendarlianto., Indarto., Adhika Widya paraga., 2019, Experimental study on the flow pattern and pressure gradient of air-water two-phase flow in a horizontal circular mini-channel.
- [5] Triplett K. A., Ghiaasiaan S. M., Abdel-khalik S. I. et al. Gas-liquid two-phase flow in microchannels. Part II: Void fraction and pressure drop [J]. *International Journal of Multiphase Flow*, 1999, 25(3): 395-410.