

KAJIAN EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE UDARA-AIR CAMPURAN BUTANOL 5% PADA SALURAN KECIL POSISI KEMIRINGAN 30°

Annas Zuhair^a, Sudarja^b, Sukamta^c

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

^aannaszuhair123@gmail.com, ^bsudarja_msn@yahoo.com, ^cmsukamta@gmail.com

INTISARI

Aliran dua fase (*two-phase flow*) merupakan bagian dari aliran multi fase yang hanya melibatkan dua macam wujud dari suatu zat dalam sebuah aliran. Aliran dua fase dapat digolongkan berdasarkan ukuran salurannya yaitu, saluran berukuran besar (*large channel*), normal (*normal channel*), mini (*minni channel*), mikro (*micro channel*), nano (*nano channel*). Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui informasi mengenai pola aliran, peta pola aliran, fraksi hampa dan gradien tekanan aliran dua fase pada saluran pipa mini (*mini channel*).

Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter 1,6 mm dengan panjang 130 mm dengan sudut kemiringan 30° terhadap posisi horizontal. Fluida yang digunakan yaitu campuran udara-air dan butanol 5%. Nilai kecepatan superfisial air dan udara dibuat bervariasi yaitu $J_L = 0,033 - 4,93$ m/s dan $J_G = 0,025 - 66,3$ m/s. Pada penelitian ini pola aliran diproses menggunakan metode visualisasi dengan program *MOV to AVI* kemudian diolah dengan *virtual dub*. Fraksi hampa dihitung menggunakan metode *digital image processing* dengan program MATLAB R2014a. Gradien tekanan menggunakan sensor tekanan fluida *MPX System* yang dihubungkan ke komputer.

Pada penelitian ini pola aliran yang didapatkan adalah aliran *annular*, *bubble*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Perbandingan yang didapatkan antara peta pola aliran penelitian ini dengan peta pola aliran peneliti terdahulu memiliki kesamaan tetapi terjadi pergeseran garis transisi *bubble* dan *churn*. 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. Nilai tegangan permukaan dan sudut kemiringan mempengaruhi terhadap bentuk pola aliran dan nilai gradien tekanan.

Kata kunci : aliran dua fase, pola aliran, fraksi hampa, gradien tekanan, tegangan permukaan, dan sudut kemiringan.

ABSTRACT

Two-phase flow (two-phase flow) is part of a multi-phase flow that only involves two forms of a substance in a flow. Two-phase flow can be classified based on the size of the channel, namely, large channels (large channel), normal (normal channel), mini (mini channel), micro (micro channel), nano (nano channel). This research aims to find out information about flow patterns, flow patterns maps, void fractions and two-phase flow pressure gradients on mini-channels.

This research was conducted in the test section in the form of a glass pipe with a diameter of 1.6 mm with a length of 130 mm with an angle of 30^0 to the horizontal position. The fluid used is a mixture of air-water and 5% butanol. The superficial velocity values of water and air are varied, namely $J_L = 0.033 - 4.93 \text{ m/s}$ and $J_G = 0.025 - 66.3 \text{ m/s}$. In this study flow patterns are processed using visualization methods with the MOV to AVI program and then processed with virtual dub. The void fraction was calculated using the digital image processing method with the MATLAB R2014a program. The pressure gradient uses the MPX System fluid pressure sensor that is connected to the computer.

In this study the flow patterns obtained are annular flow, bubble, churn, plug and annular slug. Comparisons obtained between the flow pattern maps of this study with the flow patterns maps of previous researchers have in common but there is a shift in the bubble and churn transition lines. The value of the vacuum fraction is influenced by the varied J_G and J_L and the flow patterns that occur. As for the pressure gradient results show that the gas superficial velocity (J_G) and liquid superficial velocity (J_L) greatly affect the pressure gradient value the higher the J_G and J_L values, the pressure gradient value will increase. The value of surface tension and the tilt angle affect the shape of the flow pattern and the pressure gradient value.

Keywords: *two-phase flow, flow pattern, void fraction, pressure gradient, surface tension, and slope angle.*

1. Pendahuluan

Aliran dua fase merupakan salah satu bagian dari aliran multifase. Aliran multi fase adalah aliran yang memiliki beberapa fase yang mengalir secara bersamaan. Dalam aliran dua fase, terdapat beberapa kompleksitas yang dapat terjadi diantaranya : interaksi antar tiap fase, pengaruh deformasi permukaan serta pengaruh pergerakan yang terjadi antar fluida pada saat terjadi suatu aliran, pengaruh keseimbangan fase, pengaruh pressure drop dan lain sebagainya. Aliran dua fase dapat digolongkan berdasarkan ukuran salurannya yaitu, saluran besar, normal, mini, mikro, dan nano.

Fenomena aliran dua fase banyak terjadi di dunia industri, seperti pada pembangkit tenaga nuklir, industri kimia, pembangkit tenaga uap, industri dan industri perminyakan. Selain diterapkan dalam dunia industri, aliran dua fase juga diterapkan pada sistem pencernaan manusia. Parameter pada penelitian aliran dua fase udara, air dan butanol 5% pada pipa kapiler dengan kemiringan 30° terdiri dari parameter dasar yaitu, (a) Flow behavior (*interfacial behavior*), yaitu pola aliran (*flow pattern* atau *flow regime*), dan peta pola aliran (*flow pattern map*), (b) fraksi hampa (*void fraction*), (c) perubahan tekanan (*pressure gradient* atau *pressure drop*).

Penelitian yang dilakukan oleh Triplett dkk (1999) pada aliran dua fase yang dilakukan pada campuran antara air-udara dengan menggunakan pipa berdiameter 1,097 dan 1,45 mm, dari hasil penelitian pola aliran yang berhasil diamati adalah pola aliran *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular*, dan *annular*. Untuk mengetahui gambaran pola aliran *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular*, dan *annular* dapat dilakukan analisis aliran dengan metode visualisasi yaitu dengan kamera DSLR. Fraksi hampa (*void fraction*) merupakan salah satu parameter aliran dua fase yang bertujuan untuk mengetahui nilai kecepatan, Panjang, dan frekuensi pada setiap pola aliran. Sudarja dkk. (2015) telah melakukan penelitian tentang pola aliran dan fraksi hampa pada pipa berukuran kecil dan penelitian dilakukan menggunakan gas dan cairan berupa udara dan akuades.

Gradien tekanan adalah penurunan tekanan persatuan Panjang sepanjang jalur aliran. Penelitian gradien tekanan pernah dilakukan oleh Dutkwoski dkk. (2009) tentang penurunan tekanan aliran dua fase udara-air pada pipa berukuran mini. Sudarja dkk. (2016), melakukan penelitian pada gradien tekanan menggunakan udara-akuades dan gliserin 20% pada pipa kaca berdiameter 1,6 mm yang bertujuan untuk mendapatkan data primer gradien tekanan udara-akuades dan gliserin 20% dengan posisi horizontal.

Setyawan dkk, (2016) dalam penelitiannya menggunakan cairan butanol mengatakan bahwa tegangan permukaan yang rendah membuat kecepatan gelombang turun untuk kecepatan superfisial cairan yang rendah, sedangkan untuk kecepatan superfisial cairan yang tinggi membuat kecepatan gelombang meningkat.

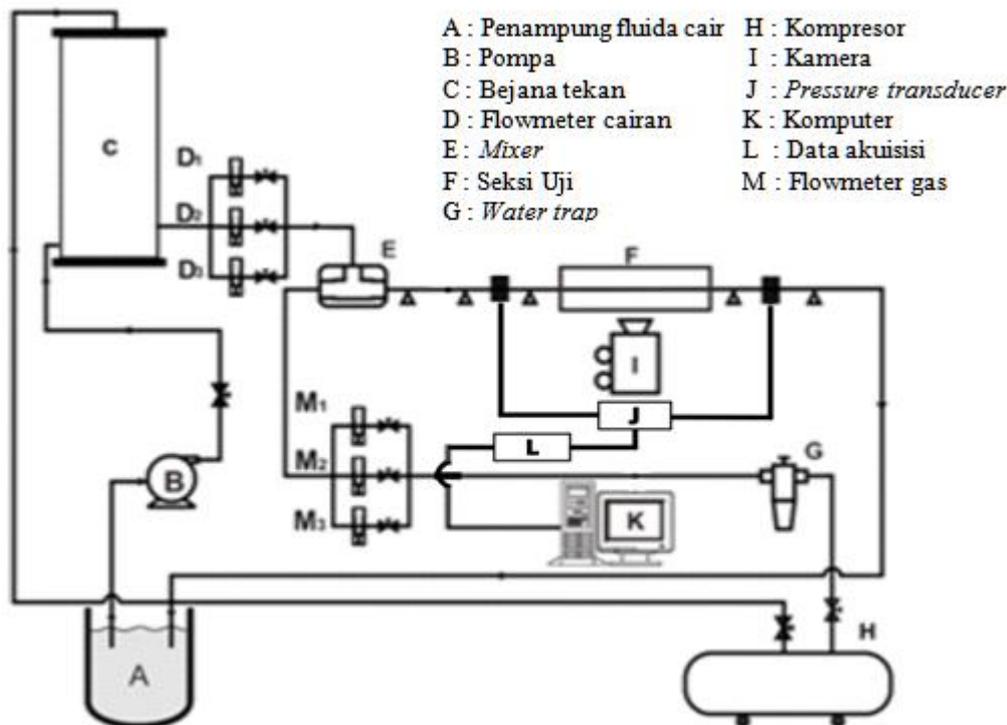
Jika pada penelitian terdahulu fluida cair yang digunakan adalah air yang memiliki tegangan permukaan yang tinggi dan posisi saluran horizontal maka pada penelitian ini menggunakan campuran air dan butanol 5% yang memiliki nilai tegangan permukaan yang lebih rendah dari air selain itu sudut kemiringan dibuat 30°. 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 saluran kecil.

2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan didapat data yang berasal dari pipa mini berbahan kaca yang berdiameter 1,6 mm. 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

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.

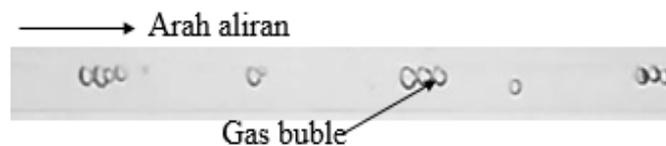
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pola Aliran

Dari hasil 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).

3.1.1 Pola Aliran Bubbly

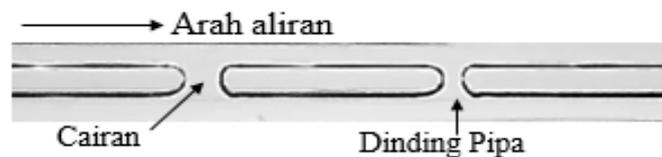
Terbentuknya pola aliran *bubble* ketika nilai kecepatan superfisial udara lebih rendah dari kecepatan superfisial cairan. Dengan debit air yang lebih besar daripada debit gas menyebabkan cairan di area mixer menumpuk, oleh sebab itu aliran *bubble* muncul ketika gas yang terkumpul dibagian atas dari *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 2. Pola aliran *bubbly* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

3.1.2 Pola Aliran Plug

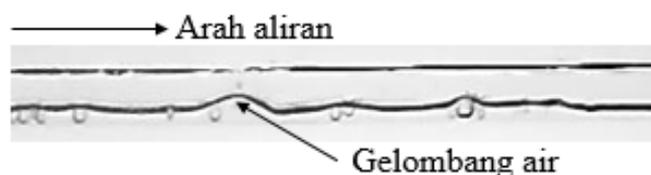
Pola aliran *plug* terbentuk saat kecepatan superfisial gas dinaikan sedangkan kecepatan superfisial cair pada aliran *plug* cenderung rendah dibandingkan dengan aliran *bubble*. Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada kecepatan (J_G) = 0,025 m/s sedangkan kecepatan (J_L) = 0,033 m/s, Pola aliran *plug*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



Gambar 3. Pola aliran *plug* pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.1.3 Pola Aliran Slug-annular

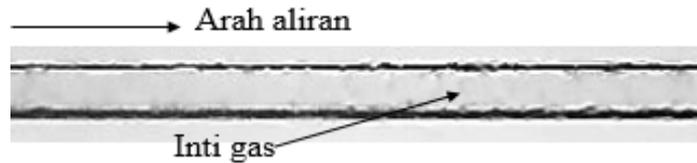
Pola ini terjadi pada saat aliran udara sudah *continue* dan sementara aliran air bagian bawah maupun atas saluran pipa membentuk gelombang. Lapisan air yang ada pada bagian atas saluran pipa biasanya cenderung lebih tipis dari bagian bawah, terbentuknya pola aliran *slug annular* akibat adanya kenaikan pada kecepatan superfisial gas (J_G). sehingga yang tadinya pola aliran *plug* yang terpotong oleh air 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 $J_G = 1,941$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s

3.1.4 Pola Aliran Annular

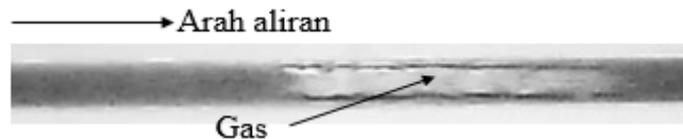
Pola aliran *annular* seperti pola aliran *slug annular* yang memiliki gelombang kecil yang lebih banyak yang terdapat pada bagian atas dan bawah *liquid film*. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan lebih jelas aliran *annular* memiliki gelombang kecil dibagian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



Gambar 5. Pola aliran *annular* pada $J_G = 58,05$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

3.1.5 Pola Aliran *Churn*

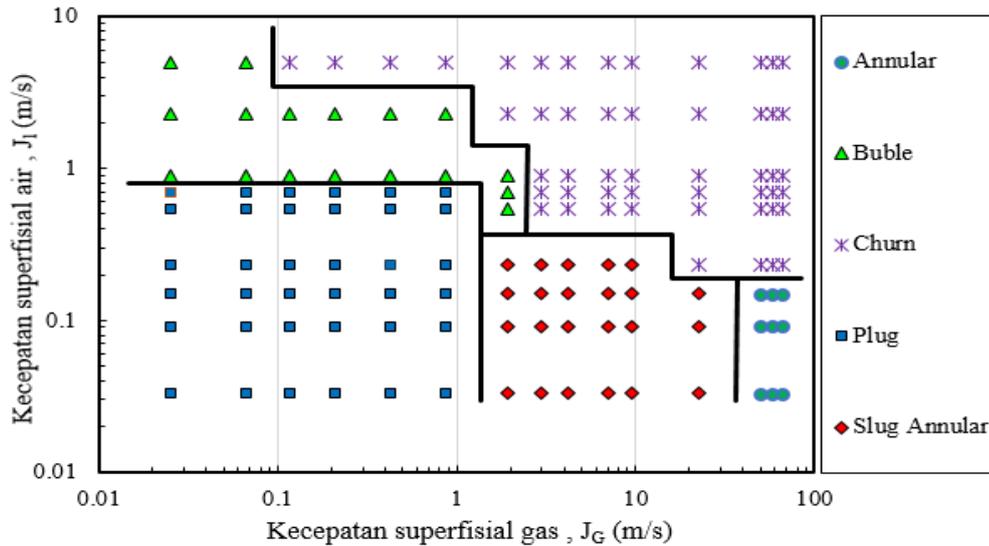
Pola aliran *churn* dapat terjadi dari transisi aliran *plug*, *slug annular*, dan *annular* aliran *churn* terjadi ketika kecepatan superfisial cairan (J_L) dan kecepatan superfisial gas (J_G) sama-sama tinggi. ketika nilai (J_L) tinggi seharusnya pola yang terbentuk adalah pola aliran *plug* tapi karena 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 mendarat tanpa ada gelombang.



Gambar 6. Pola aliran *churn* pada $J_G = 7$ m/s, $J_L = 0,879$ m/s

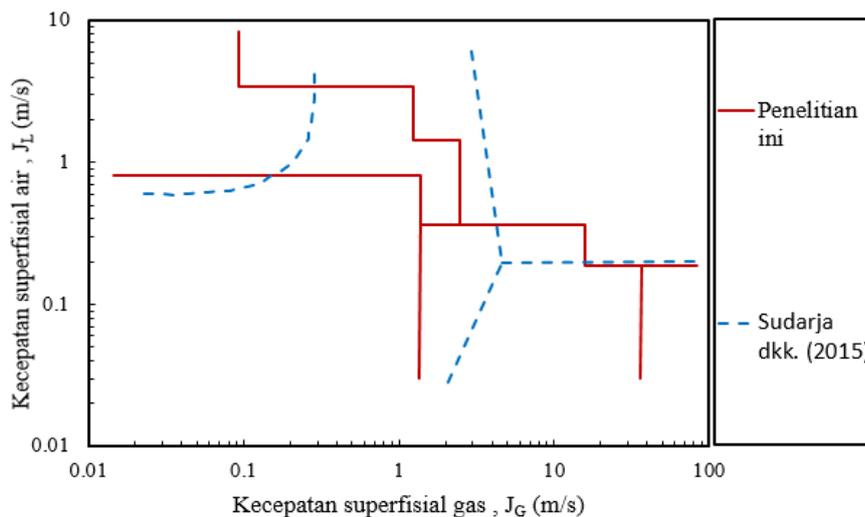
3.1.6 Peta Pola Aliran

Pola aliran yang telah dijustifikasi kemudian dipetakan berdasarkan variasi kecepatan superfisialnya. 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.



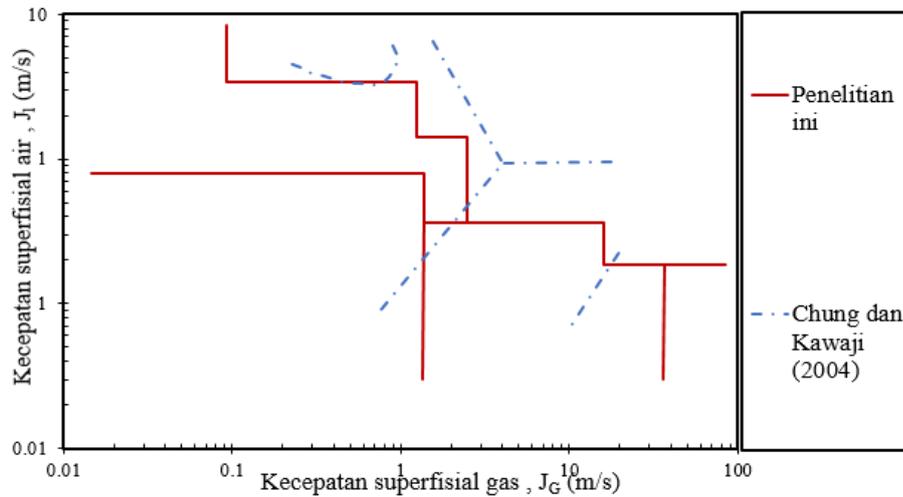
Gambar 7. Peta pola aliran

3.1.7 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 8. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Sudarja (2015).

Dapat dilihat pada Gambar 8. garis transisi penelitian hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sudarja dkk. (2015). Pada penelitian ini menggunakan saluran pipa mini horisontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu air-udara dan campuran butanol 5% dengan variasi sudut kemiringan pipa 30°, sedangkan pada penelitian Sudarja dkk. (2015) saluran yang saluran pipa mini horisontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu air-udara. Perbedaan metode pada penelitian ini dengan Sudarja dkk. (2015) terletak pada fluida kerja dan posisi kemiringan pipa. Pola aliran yang terbentuk pada penelitian ini sama dengan penelitian Sudarja dkk (2015) yaitu : *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Pada garis transisi *bubbly* terjadi pergeseran kekanan atas dikarenakan pola aliran *bubbly* lebih banyak, sedangkan pada penelitian Sudarja dkk. (2015) pola aliran *annular* lebih mendominasi dibandingkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 8. Pergeseran yang terjadi akibat pengaruh fluida kerja yang digunakan karena pada penelitian ini menggunakan campuran butanol 5% dengan kemiringan sudut sebesar 30°.



Gambar 9. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004).

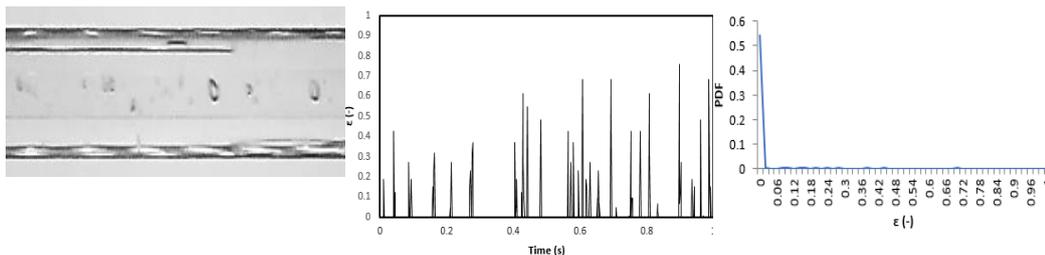
Perbandingan peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004) dengan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 9 posisi garis transisi berbeda dari hasil penelitian ini dikarenakan Penelitian menggunakan campuran gas nitrogen dan air, sedangkan pada penelitian ini menggunakan udara-air dan campuran butanol 5% dengan kemiringan 30° dari kedua penelitian tersebut menghasilkan bentuk pola aliran yang sama yaitu *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Perbedaan garis transisi *bubbly* pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) lebih keatas dibandingkan pada penelitian ini dikarenakan jumlah *bubbly* pada penelitian ini lebih mendominasi dan garis transisi antara *annular*, *churn* dan *slug annular* mengalami pergeseran ke atas dibanding dengan penelitian ini hal ini dikarenakan pada penelitian Chung dan Kawaji pola aliran yang mendominasi adalah *plug*.

3.2 Fraksi Hampa

Hasil penelitian pada pipa mini dengan kemiringan 30° menghasilkan beberapa jenis pola aliran yang mengandung campuran butanol 5%. 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 ϵ [-] (nilai fraksi hampa).

3.2.1 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubbly*

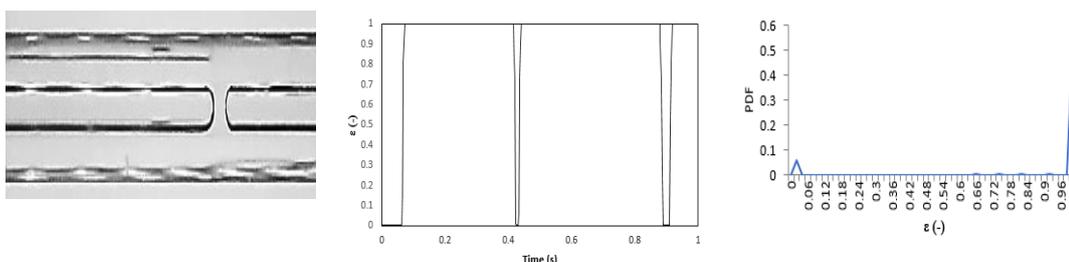
Pada pola aliran *bubbly* yang terjadi biasanya diawali dengan munculnya gelembung-gelembung udara yang berbentuk bulatan kecil yang mengambang di antara batas dinding pipa. Pola aliran ini terbentuk saat kecepatan superfisial gas (J_G) rendah dan kecepatan superfisial cairan (J_L) tinggi.



Gambar 10. Pola aliran *bubbly*, time average dan PDF pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

3.2.2 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

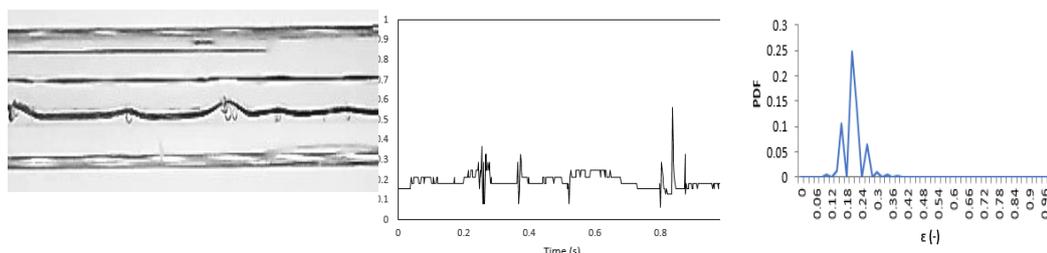
Pola aliran *plug* biasanya ditandai dengan adanya gelembung-gelembung udara yang menutupi seluruh dinding pipa dengan panjang pola aliran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa diameter *plug* sama dengan diameter pipa mini. *Plug* adalah pola aliran yang berdasarkan bentuknya dikategorikan sebagai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



Gambar 11. Pola aliran *plug*, time average, dan PDF pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

3.2.3 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Slug Annular*

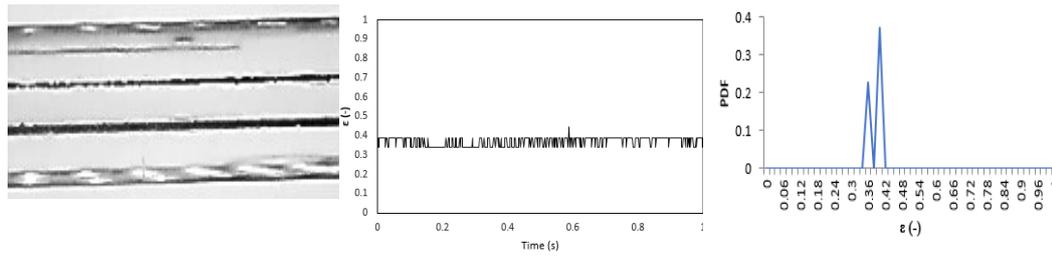
Pola aliran *slug-annular* adalah pola transisi antara pola *plug* menjadi pola *annular*. Pola aliran ini memiliki struktur dimana fase cairan terdistribusi secara simetris pada dinding pipa, namun pada titik tertentu lebih terdapat lapisan film cairan yang lebih tebal dibanding titik lainnya. Hal tersebut 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 12. Pola aliran *slug annular*, time average, dan PDF pada $J_G = 1,941$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

3.2.4 Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

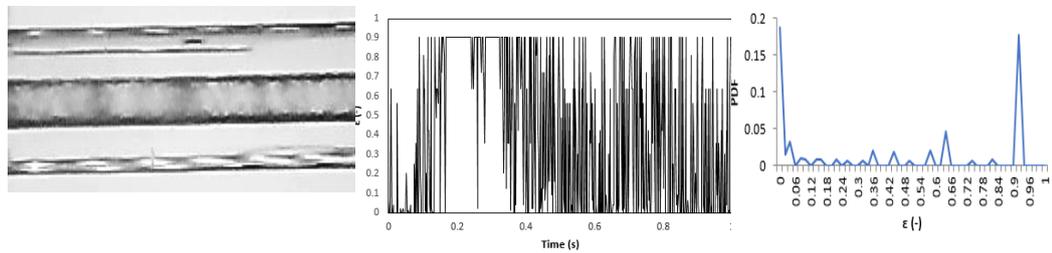
Pola aliran *annular* adalah pola aliran dimana kecepatan superfisial gas (J_G) yang tinggi dan kecepatan superfisial cairan (J_L) yang rendah mengakibatkan udara menembus bagian dari tengah lapisan film cairan sehingga mendorong lapisan film cairan terdistribusi secara merata dan simetris pada bagian 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 13. Pola aliran *annular*, time average, dan PDF pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

3.2.5 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.

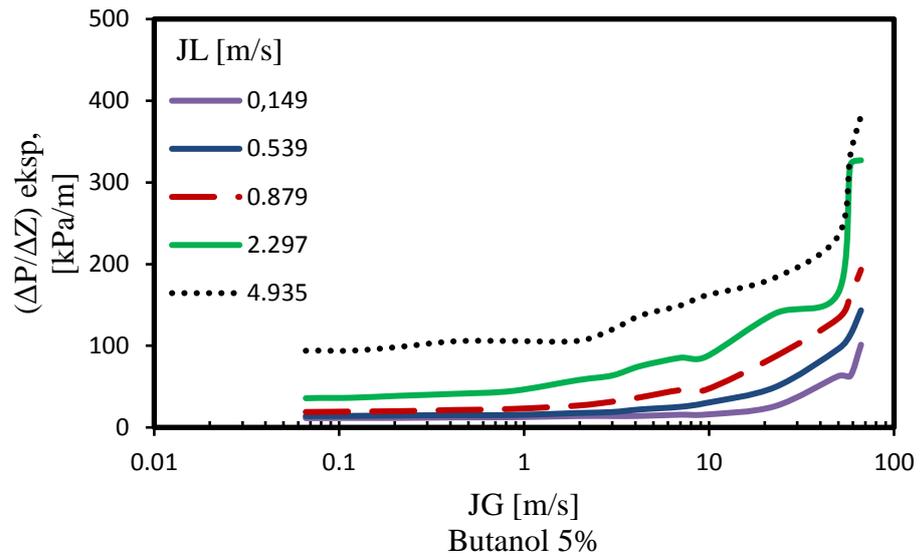


Gambar 14. Pola aliran *churn*, time average, dan PDF pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

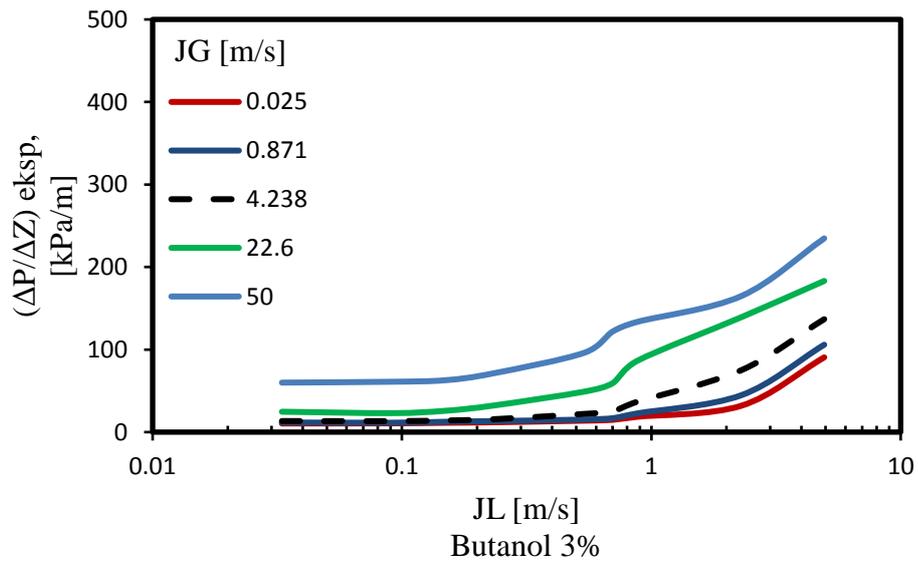
3.3 Gradien tekanan

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 15. Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G ,



Gambar 16. Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L ,

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang kajian eksperimental karakteristik aliran dua fase udara-air + 5% butanol pada pipa kecil posisi miring 30° didapat kesimpulan hasil yang diperoleh sebagai berikut :

4.1. Pola Aliran dan Peta Pola Aliran

1. Pada penelitian ini didapatkan pola aliran yaitu, *bubbly*, *churn*, *annular*, dan *slug annular*.
2. Nilai tegangan permukaan butanol 5% adalah 33,10 mN/m dengan besar nilai tersebut mempengaruhi karakteristik dari pola aliran.
3. Pada peta pola aliran penelitian ini dapat diketahui bahwa, pola aliran yang paling mendominasi pada penelitian ini adalah *plug* dan *churn*. Sedangkan pola aliran *annular* terlihat paling sedikit kemunculannya.

4.2. Fraksi Hampa (Void Fraction):

1. Nilai fraksi hampa pada pola aliran *bubbly* biasanya diawali dengan munculnya pola aliran *plug* yang mengakibatkan meningkatnya nilai fraksi hampa secara drastis pada rentang waktu tertentu.
2. Pada pola aliran *plug*, nilai fraksi hampa bisa mencapai nilai 0,98 karena pola aliran *plug* yang muncul lebih banyak dan hampir memenuhi dinding pipa seksi uji.
3. Nilai fraksi hampa pada pola aliran *annular* cenderung lebih stabil, karena tidak terjadi penurunan dan kenaikan nilai fraksi hampa yang signifikan.
4. Pada pola aliran *slug-annular* terjadi penurunan nilai fraksi hampa, hal itu terjadi karena *liquid neck* yang muncul pada titik tertentu pada seksi uji.
5. Nilai fraksi hampa pada pola aliran *churn* memiliki nilai fluktuatif.

4.3. Gradien Tekanan

Pada gradien tekanan ini hal yang mempengaruhi hasil dari nilai gradien tekanan yaitu, kecepatan superfisial gas (JG) dan kecepatan superfisial cairan (JL), karena semakin tinggi JG dan JL maka nilai gradien tekanan yang didapatkan juga akan semakin naik.

Daftar Pustaka

Journal :

- Abubakar, A., Al-Wahaibi, Y., Al-Wahaibi, T., Al-Hashmi, A., Al-Ajmi, A., & Eshtrati, M. (2015). Effect of low interfacial tension on flow patterns, pressure gradients and holdups of medium-viscosity oil/water flow in horizontal pipe. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 68, 58–67.
- Barreto E. X., Oliveira J. L. G., Passos J. C. (2015). Frictional pressure drop and void fraction analysis in air–water two-phase flow in a microchannel. *International Journal of Multiphase Flow*, 72: 1-10.
- 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 SPEC. ISS.), 735–761.
- Dutkowski, K. (2009). Two-phase pressure drop of air-water in minichannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(21–22), 5185–5192.
- Fukano, T., & Kariyasaki, A. (1993). Characteristics of gas -liquid two-phase flow in a capillary tube. *Nuclear Engineering and Design* 141 59-68.
- Ismail, A. S. I., Ismail, I., Zoveidavianpoor, M., Mohsin, R., Piroozian, A., Mohd Shahir Misnan, & Mior Zaiga Sariman. (2015). Experimental Investigation of Oil-Water Two-Phase Flow in Horizontal Pipes: Pressure Losses, Liquid Holdup, and Flow Patterns. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 127, 409–420.
- Ju Lee, H., & Yong Lee, S. (2001). Pressure drop correlations for two-phase flow within horizontal rectangular channels with small heights. *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 27, pp. 783–796.
- Kawahara, A., Chung, P. 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.
- Lee, C. Y., & Lee, S. Y. (2010). Pressure drop of two-phase dry-plug flow in round mini-channels : Effect of moving contact line. *Experimental Thermal and Fluid Science* 34, 1-9.
- 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.
- Mayor, T.S., Pinto, A.M.F.R., Campos, J.B.L.M., (2007), An image analysis technique for the study of gas-liquid slug flow along vertical pipes – associated uncertainty, *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol 18, pp. 139-147.
- Ramírez-Rivera, F., López-Belchí, A., Vera-García, F., García-Cascales, J. R., & Illán-Gómez, F. (2015). Two phase flow pressure drop in multiport mini-channel tubes using R134a and R32 as working fluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 92, 17–33.
- 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*, 71, 25–41.

- Serizawa A., Feng Z., Kawara Z. (2002). Two-phase flow in microchannels. *American Society of Mechanical Engineers, Heat Transfer Division, (Publication) HTD*, 369(3), 87–93.
- Sudarja, Haq, Aqli., Deendarlianto, Indarto, & Widyaparaga, A. (2019). Experimental study on the flow pattern and pressure gradient of air-water two-phase flow in a horizontal circular mini-channel. *Journal of Hydrodynamics*, 31(1), 102–116.
- Sudarja, Jayadi, F., Indarto, & Deendarlianto. (2016). Karakteristik Gradien Tekanan Pada Aliran Dua-Fase Udara-Campuran Air dan 20 % Gliserin Dalam Pipa Horizontal Berukuran Mini. *Proceeding National Symposium on Thermofluids, VIII*(November).
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, & Gutama A. (2015). Studi eksperimental mengenai pola aliran dan fraksi hampa pada gas-cairan dalam pipa berukuran mini. *Prosiding seminar nasional perkembangan riset dan teknologi di bidang industri ke 21*.
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, Noverdi, R., & Gutama, A. (2014). Investigasi Pola Aliran Dua-Fase Gas-Cairan Di Dalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horizontal. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XIII)*.
- Sur, A., & Liu, D. (2012). International Journal of Thermal Sciences Adiabatic air e water two-phase flow in circular microchannels. *International Journal of Thermal Sciences*, 53, 18–34.
- Thome, J.R., 2004, *Engineering Data Book III*, Wolverine Tube inc, Lausanne.
- 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(3), 377–394.
- Xia G. D., Chai L. (2012). Influence of surfactant on two-phase flow regime and pressure drop in upward inclined pipes . *Journal of Hydrodynamics*, 24(1): 39-49.