

KAJIAN EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE UDARA-AIR DAN BUTANOL 3% PADA SALURAN KECIL POSISI KEMIRINGAN 30°

M.Fauzan Saputra^a, Sudarja^b, Sukamta^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
^afauzansaputra1234@gmail.com, ^bsudarja_msn@yahoo.com, ^cmsukamta@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter 1,6 mm dengan panjang 130 mm menggunakan campuran udara-air dan butanol 3% dengan sudut kemiringan 30° terhadap posisi horisontal. 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 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 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, tegangan permukaan, saluran kecil, kemiringan.

Abstract

*This research was conducted in the test section in the form of a 1.6 mm diameter glass pipe with a length of 130 mm using a mixture of air-water and 3% butanol with a slope angle of 30° to the horizontal position. The superficial velocity values of water and air are varied, namely $J_L = 0.033 - 4.93$ m / s and $J_G = 0.025 - 66.3$ 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 *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, surface tension, minni channel, declivity.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dewasa ini semakin mengarah pada peralatan dan produk yang kecil dan kompak. Banyak teknologi yang memanfaatkan teknologi *micro* untuk menunjang sebuah sistem yang efisien. Zhao dan Bi (2001) memberikan gambaran tentang beberapa aplikasi aliran pada saluran kecil seperti pada pendinginan modul-modul *high-density multi-chip* pada *supercomputer*, peralatan *X-ray* dan peralatan diagnostik lainnya yang berdaya tinggi, penukar kalor fluks tinggi pada sistem kedirgantaraan (*aerospace system*), sistem pendinginan *cryogenic* pada satelit, dan sebagainya. Kawahara dkk. (2002) juga memberikan contoh lain dari aplikasi *micro scale devices*, yaitu untuk pendinginan rangkaian mikroelektrik, aplikasi-aplikasi pada *bioengineering*, *aerospace* dan *micro heat pipe*.

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*). Aliran dua fase masih dapat dibedakan berdasarkan kombinasi fase, kedudukan saluran, arah aliran dan bentuk salurannya. Pada kombinasi fase terbagi menjadi tiga kombinasi yaitu: cair-padat, padat-gas dan gas-cair. Menurut kedudukan salurannya yaitu: mendatar, tegak, lurus dan miring. Menurut arah alirannya yaitu: searah keatas, searah kebawah, berlawanan arah, mendatar sejajar dan mendatar berlawanan arah. Menurut bentuk salurannya yaitu: lingkaran, persegi dan segitiga.

Dalam penelitian karakteristik aliran dua fase pada pipa mini sangat tergantung pada tegangan permukaan yang akan mempengaruhi terhadap parameter penting pada aliran dua fase 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*). Triplett dkk. (1999) menyatakan bahwa pada aliran dua-fase di dalam pipa berukuran mini berbeda dengan aliran dua fase pada pipa besar dimana aliran fluida pada pipa berukuran mini mempunyai sifat yang unik, dimana tegangan permukaan memiliki peran yang sangat dominan dalam aliran tersebut.. 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.

Chung dan Kawaji (2004) mengungkapkan bahwa informasi dan data penelitian *micro channel* dengan diameter < 100 μm masih sangat terbatas dan belum sepenuhnya konsisten, serta pengaruh dari pengecilan diameter saluran masih belum jelas. Konsentrasi riset masih terfokus pada pola aliran, sedangkan parameter lain belum banyak diungkap. Fukano dan Kariyasaki (1993) mengatakan bahwa arah aliran vertikal maupun horizontal tidak mempengaruhi nilai *pressure gradient*.

Penelitian mengenai karakteristik aliran dua fase pada saluran kecil telah diteliti oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain Triplett dkk.(1999), Kawahara dkk. (2002), Krishnamurthy dan Peles (2009), Sur dan Liu (2011), He dkk. (2011) dan Sudarja 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.

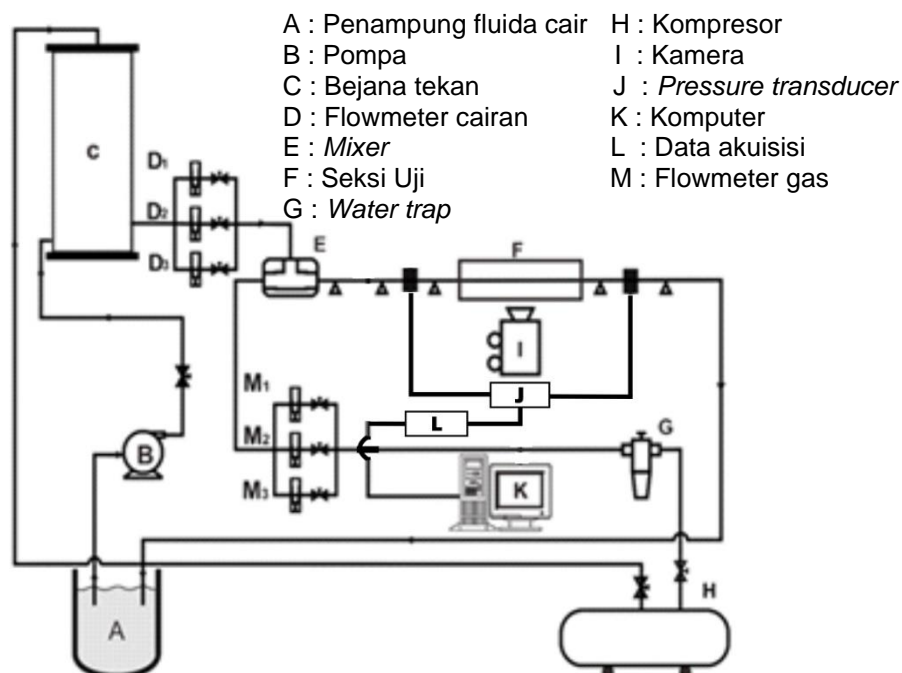
Jika pada penelitian terdahulu fluida cair yang digunakan adalah air yang memiliki tegangan permukaan yang tinggi dan posisi saluran horizontal maka pada penelitian ini menggunakan campuran air dan butanol 3% yang memiliki nilai tegangan permukaan yang lebih rendah selain itu sudut kemiringan dibuat 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

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 3% yang dialirkan ke dalam bejana tekan dengan bantuan

pompa. Penelitian ini dilakukan pada kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,025-66,300 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. Komponen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu tangki air, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *mixer*, *test section*, konektor dan *separator*. Peralatan yang mendukung dalam penelitian ini antara lain: kamera, komputer dan *correction box*. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : *Pressure transducer*, data akuisisi, *pressure indicator*, flowmeter udara dan flowmeter air.



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.

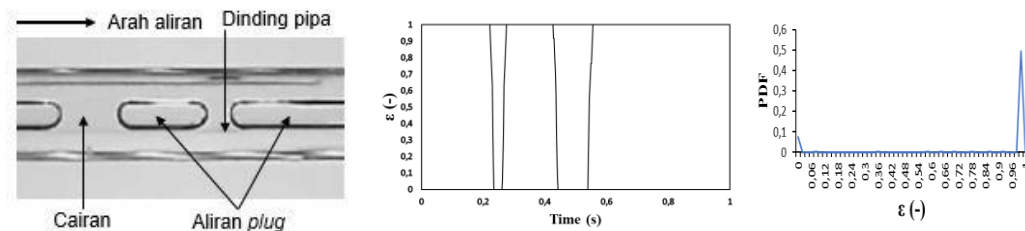
3. Hasil dan Pembahasan

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 Pola aliran dan fraksi hampa

3.1.1 Pola aliran *plug*

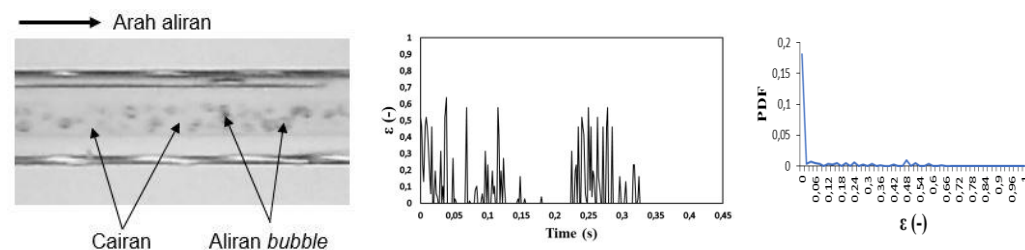
Pola aliran *plug* terbentuk pada saat kecepatan superfisial gas cukup besar menembus suatu aliran fluida cair tapi tidak cukup besar untuk menerobos aliran fluida cair. Pola aliran *plug* terjadi saat nilai J_G lebih besar dibandingkan nilai J_L yang lebih rendah, bentuk pola aliran *plug* dipengaruhi dari kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial liquid, semakin besar nilai kecepatan superfisial gas pola aliran *plug* menjadi semakin panjang sedangkan nilai kecepatan superfisial 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 2. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

3.1.2 Pola aliran *bubble*

Terbentuknya pola aliran *bubble* terbentuk 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.

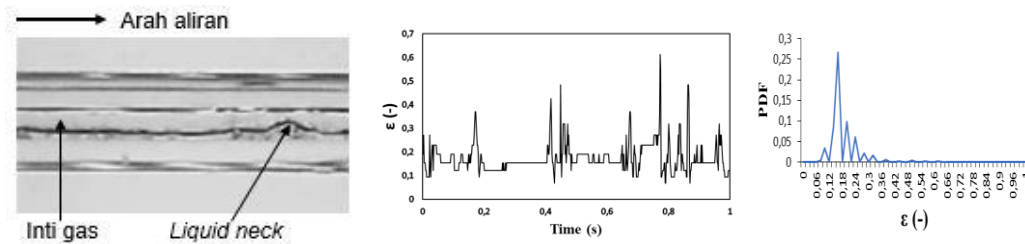


Gambar 3. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

3.1.3 Pola aliran *slug-annular*

Pola aliran *slug annular* memiliki aliran air yang bergelombang pada bagian bagian bawah. Terbentuknya pola aliran *slug annular* ketika kecepatan superfisial udara

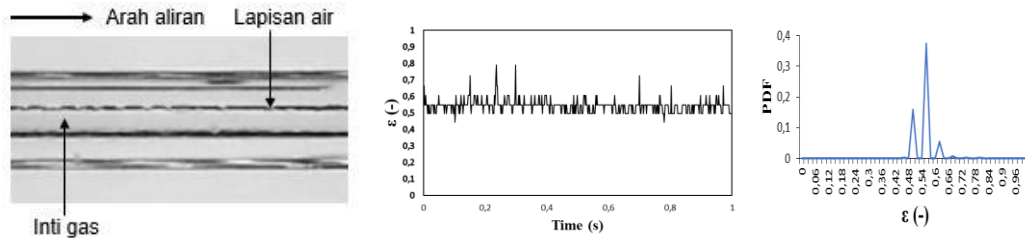
naik menyebabkan pola aliran *plug* yang terpisah oleh air berhasil diterobos oleh udara sehingga terbentuk aliran *slug annular*.



Gambar 4. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$

3.1.4 Pola aliran *annular*

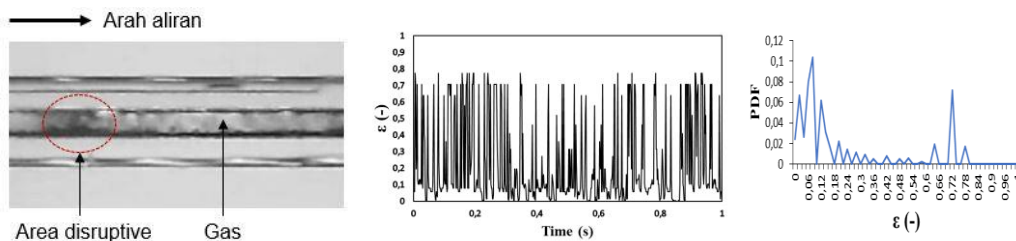
Pola aliran *annular* seperti pola aliran *slug annular* yang memiliki gelombang kecil yang lebih banyak yang terdapat pada bagian atas dan bawah *liquid film*. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan lebih jelas aliran *annular* memiliki gelombang kecil dibagian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



Gambar 5. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 50 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$

3.1.5 Pola aliran *churn*

Pola aliran *churn* muncul ketika nilai J_G dan J_L sama-sama tinggi, Pola aliran *churn* berbentuk seperti aliran *plug* yang ekornya diikuti oleh gelembung-gelembung kecil yang bergerak sangat cepat hal ini disebut area *disruptive*, hal tersebut terjadi dikarenakan fluida cair terpecah menjadi kecil-kecil. Pola aliran *churn* yang muncul pada garis transisi antara *slug-annular* terdapat gelombang yang berada pada *liquid film* yang dibagian ekornya terdapat gelembung-gelembung kecil yang mengalir sangat cepat.

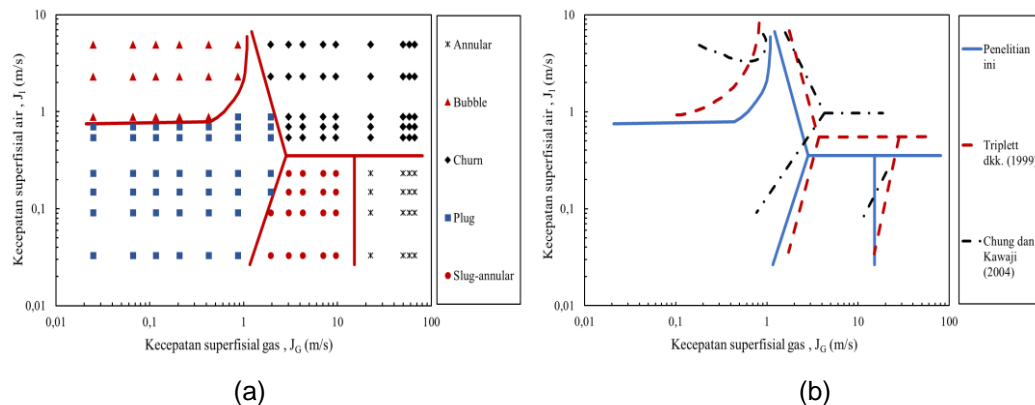


Gambar 6. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 22,6 \text{ m/s}$, $J_L = 0,539 \text{ m/s}$

3.1.6 Peta pola aliran

Peta pola aliran dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 7. (a), sedangkan pada gambar 7. (b) adalah perbandingan garis transisi peta pola aliran dari penelitian Triplet dkk (1999) dan Chung dan Kawaji (2004). Pada Gambar 7. (b) terlihat bahwa garis

transisi penelitian hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Triplett dkk. (1999). Pada garis transisi bubble terjadi pergeseran kebawah dikarenakan pola aliran bubble pada penelitian Triplett dkk. (199) pola aliran bubble lebih sedikit dibanding pada penelitian ini. Jika dibandingkan dengan garis transisi peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004) terdapat perbedaan yang signifikan antara garis transisi Chung dan Kawaji (2004) pada penelitian ini untuk pola aliran yang didapat pada ketiga penelitian ini terdapat kesamaan yaitu : *bubble, plug, slug-annular, annular* dan *churn*.

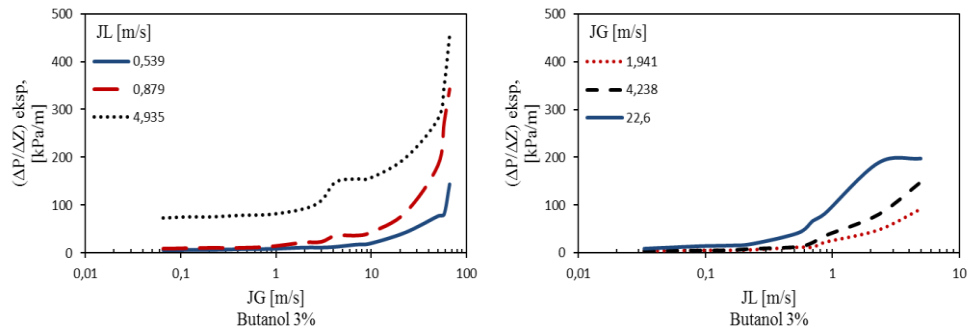


Gambar 7. (a) Peta pola aliran dan garis transisi dari penelitian ini (b) Perbandingan garis transisi peta pola aliran dengan peneliti terdahulu.

3.2 Gradien tekanan

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

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. (a) dan 8. (b) jika kecepatan superficial gas (J_G) mengalami peningkatan maka nilai dari gradien tekanan juga akan meningkat dan jika kecepatan superficial 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 superficial total dari aliran fluida (*total volumetric flux*) yang berpengaruh pada kenaikan gradien tekanan secara signifikan.



Gambar 8. (a) Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L , (b) Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G

4. Kesimpulan.

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

1. Pola aliran yang didapat dari penelitian ini adalah *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular* dengan pola aliran yang mendominasi pada penelitian ini adalah *plug* dan *churn* dan terjadi perubahan dari pola aliran *plug* dengan penurunan nilai tegangan permukaan dan variasi sudut kemiringan tetapi pada aliran bubble, slug-annular, annular dan churn tidak signifikan.
2. 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.
3. 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.

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan penulis menyarankan agar dilakukan variasi nilai tegangan permukaan untuk memperbanyak data dari parameter dasar aliran dua fase dengan perubahan tegangan permukaan untuk mengetahui pengaruh nilai tegangan permukaan terhadap karakteristik aliran dua fase.

Daftar Pustaka

Journal:

- [1] 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.
- [2] Fukano, T., & Kariyasaki, A. (1993). Characteristics of gas -liquid two-phase flow in a capillary tube. *Nuclear Engineering and Design* 141 59-68.
- [3] He, K., Wang, S., & Huang, J. (2011). The effect of surface tension on phase distribution of two-phase flow in a micro-T-junction. *Chemical Engineering Science*, 66(17), 3962–3968.
- [4] 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.

- [5] Krishnamurthy, S., & Peles, Y. (2009). Surface tension effects on adiabatic gas-liquid flow across micro pillars. *International Journal of Multiphase Flow*, 35(1), 55–65.
- [6] 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.
- [7] Sudarja, Haq, A., 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.
- [8] Sur, A., & Liu, D. (2012). International Journal of Thermal Sciences Adiabatic air e water two-phase fl ow in circular microchannels. *International Journal of Thermal Sciences*, 53, 18–34.
- [9] 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.
- [10] Zhao, T. S., & Bi, Q. C. (2001). Co-current air-water two-phase flow patterns in vertical triangular microchannels. *International Journal of Multiphase Flow*, 27(5), 765–782.