

KAJIAN EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE UDARA-AIR DAN BUTANOL 5% PADA SALURAN KECIL POSISI MIRING 20°

Muhammad Ikrar Bhakti Praja^a, Sudarja^b, Sukamta^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
[a](mailto:ikrar.praja123@gmail.com)ikrar.praja123@gmail.com, [b](mailto:sudarja_msn@yahoo.com)sudarja_msn@yahoo.com, [c](mailto:msukamta@gmail.com)msukamta@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter 1,6 mm dengan panjang 130 mm dengan sudut kemiringan 20° 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 hasil pola aliran yang didapatkan yaitu : *annular, bubbly, churn, plug* dan *slug annular*. Hasil penelitian fraksi hampa menunjukkan semakin tinggi nilai J_G maka nilai fraksi hampa semakin besar, sedangkan semakin tinggi nilai J_L maka nilai fraksi hampa semakin menurun. 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 glass pipe with a diameter of 1.6 mm with a length of 130 mm with an angle of 20° 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 $J_L = 0.033 - 4.93$ m / s and $J_G = 0.025 - 66.3$ 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 results of flow patterns obtained are: annular, bubbly, churn, plug and annular slug. The results of the void fraction showed that the higher the value of the J_G , the greater the value of the void fraction, while the higher the J_L value, the value of the void fraction decreased. 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

Fase (*phase*) adalah kondisi atau bentuk atau wujud dari suatu zat, yang dapat berupa padat, cair, dan gas (Sudarja, 2014). Aliran dua fase adalah bentuk yang paling sederhana dari aliran multifase. Aliran multifase merupakan aliran simultan beberapa fase. Untuk mendeskripsikan aliran dua fase biasanya digunakan dua komponen yang memiliki substansi kimia yang berbeda salah satu contohnya antara gas dan cairan.

Aliran dua fase dapat terjadi pada berbagai ukuran saluran, seperti saluran berukuran besar (*large channel*), normal (*normal channel*), mini (*mini channel*), mikro (*micro channel*), bahkan pada saluran nano (*nano channel*). Zhao dan Bi (2001) memberikan contoh aliran pada saluran kecil seperti pada pendinginan modul-modul *high density multi chip supercomputer*, dan peralatan *x-ray*. Kawahara dkk. (2002) juga memberikan contoh aplikasi lain dari aliran pada saluran kecil, yaitu untuk pendinginan rangkaian mikroelektrik, aplikasi-aplikasi *bioengineering*, *aeroscape*, dan *micro heat pipe*. Triplett dkk. (1999) menyatakan bahwa pada aliran dua fase di dalam pipa berukuran kecil berbeda dengan aliran dua fase pada pipa besar dimana aliran fluida pada pipa berukuran kecil mempunyai sifat yang unik, dimana tegangan permukaan memiliki peran yang sangat dominan dalam aliran tersebut.

Jayadi dkk. (2015) memberi pengertian bahwa penelitian karakteristik aliran dua fase saluran kecil sangat tergantung pada tegangan permukaan dan viskositas. Dari ketergantungan tersebut menyebabkan beberapa parameter penting aliran dua fase yang meliputi: *flow behavior* pola aliran (*flow pattern* atau *flow regime*) dan peta pola aliran (*flow pattern map*), fraksi hampa (*void fraction*), dan perubahan tekanan (*pressure gradient* atau *pressure drop*).

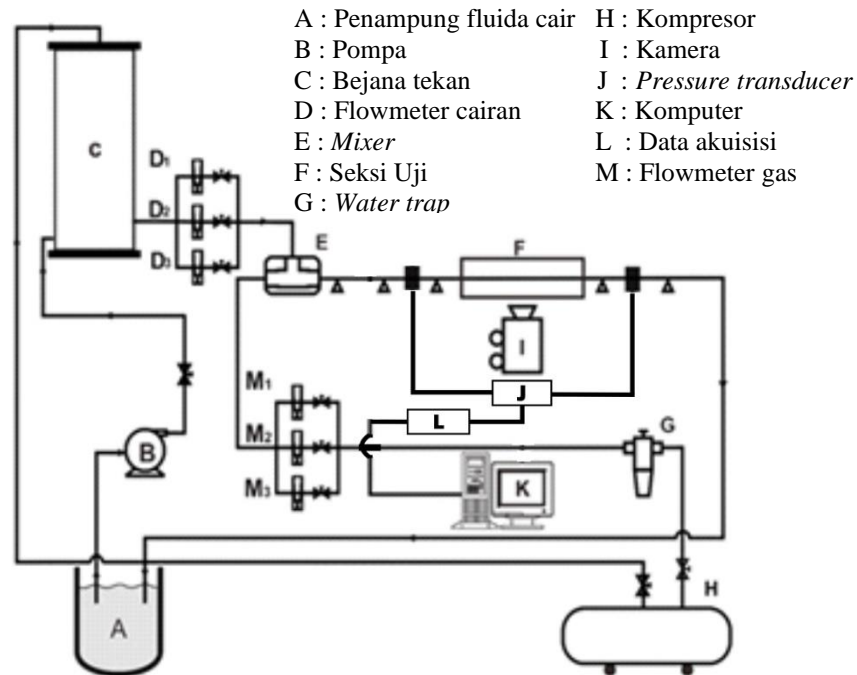
Pola aliran dapat diketahui melalui pengamatan visual langsung menggunakan pipa transparan, fotografi menggunakan sinar X atau analisis sinyal menggunakan metode konduktansi (Lin, 1987 dan Madhane, 1974) dan metode pengukuran tekanan (Spedding, 1979 dan Spedding, 1993). Fraksi hampa (*void fraction*) merupakan salah satu parameter aliran dua fase yang digunakan untuk mengetahui kecepatan, panjang, dan frekuensi dari masing-masing pola aliran. Pengukuran yang dilakukan oleh Kawahara dkk. (2002) tentang fraksi hampa pada pipa dengan diameter 100 μm . Pada saat fluida air mengalir dengan *flow rate* yang rendah, gambar yang terekam didominasi aliran air tanpa ada udara ($\epsilon = 0$), dan inti gas mengalir dengan film cairan halus. Gradien tekanan adalah penurunan tekanan per satuan panjang, sepanjang pipa aliran. Penelitian mengenai gradien tekanan pernah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Dutkwoski (2009) tentang penurunan tekanan aliran dua fase udara-air pada pipa berukuran mini.

Penelitian mengenai aliran dua fase menggunakan campuran air-udara sudah banyak dijumpai. Dari uraian diatas belum ditemui penelitian mengenai aliran dua fase udara-air dan campuran butanol 5% pada kemiringan pipa 20° dengan diameter pipa 1,6 mm, maka penelitian dari hal tersebut perlu dilakukan.

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 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 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan zat cair diakibatkan karena gaya yang bekerja pada zat cair tersebut. Di bagian dalam cairan sebuah molekul dikelilingin oleh molekul lain di sekitarnya. Oleh karena itu molekul ditarik oleh gaya yang sama besar ke segala arah maka resultan gaya yang bekerja pada molekul tersebut sama dengan nol. Sedangkan molekul yang berada tepat dibawah permukaan zat cair memiliki resultan gaya yang bekerja pada molekul tersebut tidak sama dengan nol. Hal ini disebabkan ada gaya resultan yang arahnya ke bawah karena di bagian atas molekul tersebut tidak dikelilingin oleh molekul lain dengan demikian lapisan atas seakan-akan tertutup oleh lapisan selaput elastis yang ketat.

2.2 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.

2.3 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.

2.4 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.

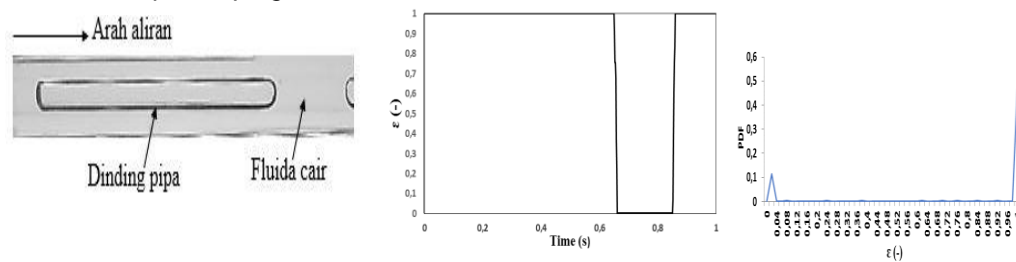
3. Hasil dan Pembahasan

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* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Plug*

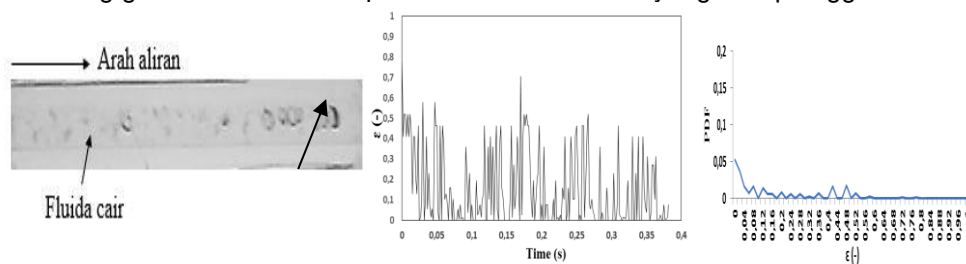
pola aliran *plug* adalah aliran gas berbentuk gelembung pendek atau panjang dan juga gas yang mengalir dalam bentuk kantung-kantung atau mirip dengan peluru. Terbentuknya pola aliran *plug* dikarenakan kecepatan superfisial gas yang tidak terlalu besar, kemudian gas menembus aliran cair tetapi tidak sampai memecah atau mengahncurkan aliran cair. Semakin besar kecepatan superfisial gasnya maka bentuk dari peluru *plug* semakin panjang dan sebaliknya semakin kecil kecepatan superfisial gasnya maka bentuk peluru *plug* semakin pendek.



Gambar 2. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

3.1.2 Pola Aliran *Bubbly* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Bubbly*

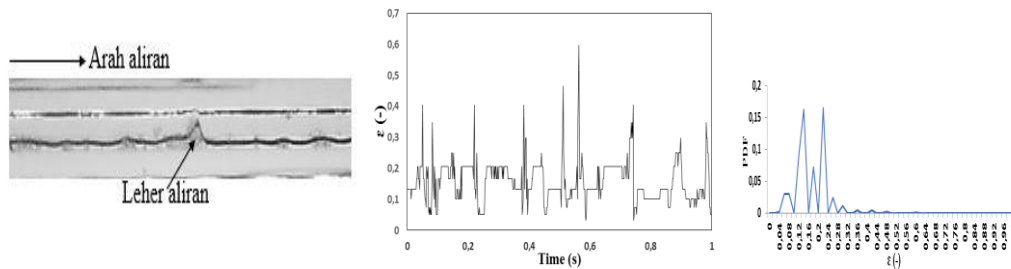
Pola aliran *bubbly* adalah pola aliran yang terdapat gelembung-gelembung kecil di dalamnya. Terbentuknya *bubbly* karena kecepatan superfisial cair yang tinggi dengan kecepatan superfisial gas yang rendah. Dengan debit air yang lebih tinggi dari debit gas menyebabkan susahya fluida gas menembus fluida cair sehingga menumpuknya gelembung-gelembung gas kecil di dalam *mixer*, *bubbly* muncul ketika gelembung-gelembung gas kecil tersebut dapat menerobos debit air yang cukup tinggi.



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* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Slug-Annular*

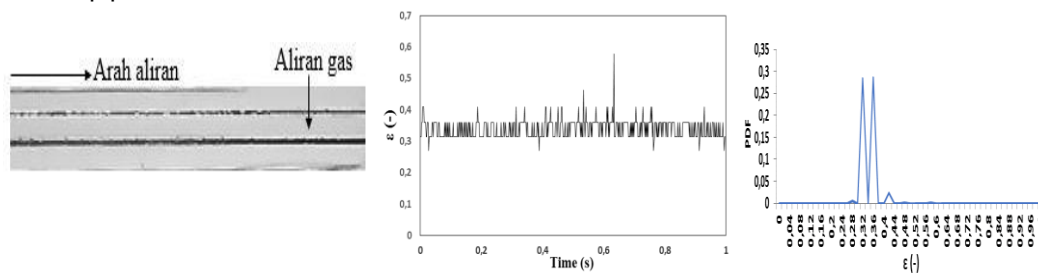
Pola aliran *slug-annular* terjadi pada kecepatan superfisial gas tinggi, akan tetapi bukan yang paling tinggi dengan kecepatan superfisial cair rendah. Pola ini terjadi ketika aliran gas sudah konstan kemudian di selipi aliran cair yang rendah sehingga terlihat seperti gelombang atau leher aliran (*liquid necks*). *Liquid necks* pada pola aliran *slug-annular* terbentuk karena pengaruh tegangan permukaan.



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* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Annular*

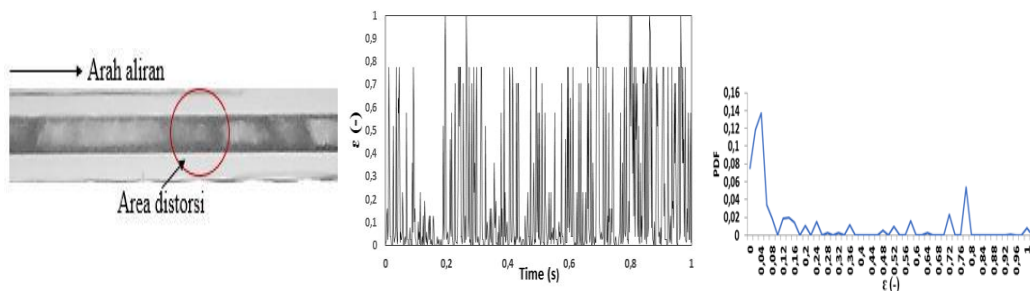
Pola aliran *annular* dengan *slug-annular* hampir mirip, terdapat gelombang di kedua aliran tersebut. Gelombang pada aliran *annular* lebih halus dan konstan. Hal tersebut dikarenakan kecepatan superfisial gas yang sangat tinggi sedangkan kecepatan superfisial cair rendah. Perbedaan distribusi fluida air dan gas ini, menyebabkan fluida gas mengalir pada bagian tengah pipa sedangkan fluida cair mengalir pada dinding atas dan bawah pipa.



Gambar 5. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 50 \text{ m/s}$, $J_L = 0,149 \text{ m/s}$

3.1.5 Pola Aliran *Churn* dan Nilai Fraksi Hampa Pola Aliran *Churn*

Terbentuknya pola aliran *churn* karena kecepatan superfisial cair yang sangat tinggi dengan kecepatan superfisial gas rendah, sedang ataupun tinggi. Munculnya pola aliran *churn* dapat terjadi pada saat transisi aliran *bubbly*, *slug-annular*, dan *annular*. Pada saat transisi dari aliran *bubbly* ke aliran *churn* nilai J_G tidak begitu besar, akan tetapi pada nilai J_L sangat besar sehingga pada saat di video alirannya sangat cepat dan gas dari aliran tersebut terdistorsi oleh aliran cair. Berbeda dengan saat transisi antara aliran *annular* ke aliran *churn*, pada kejadian transisi ini nilai kecepatan superfisial gas dan cairnya sudah sama sama tinggi.

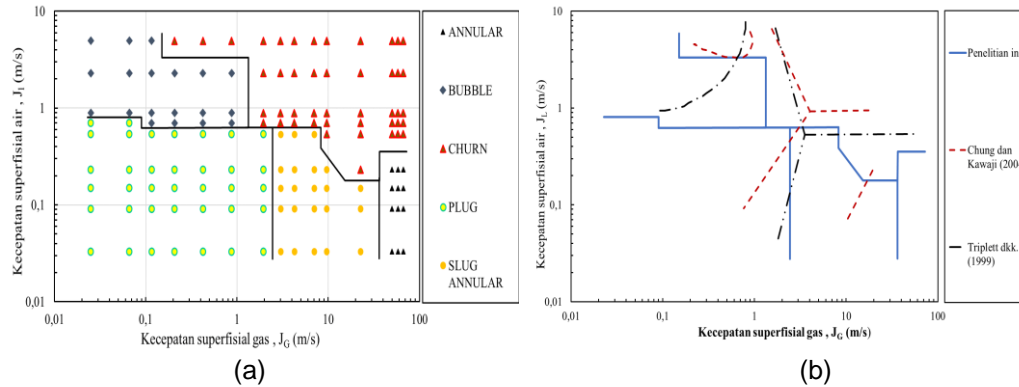


Gambar 6. Pola aliran, time average dan PDF pada $J_G = 22,6 \text{ m/s}$, $J_L = 0,7 \text{ m/s}$

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) Chung dan Kawaji (2004) menggunakan campuran gas nitrogen dan air, sedangkan pada penelitian ini menggunakan udara-air dan campuran butanol 5%. Dari kedua penelitian tersebut

menghasilkan bentuk pola aliran yang sama yaitu *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Pada gambar 7 (b) memperlihatkan perbedaan garis transisi pola aliran antara penelitian ini dengan Triplett dkk. (1999). Penelitian ini menggunakan menggunakan saluran pipa mini horizontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu udara-air dan campuran butanol 5% dengan variasi sudut kemiringan pipa 20°, sedangkan pada penelitian Triplett dkk. (dkk) saluran yang digunakan *mikro sirkular* dengan diameter 1,097 mm dengan fluida kerja yang digunakan yaitu air dan udara.

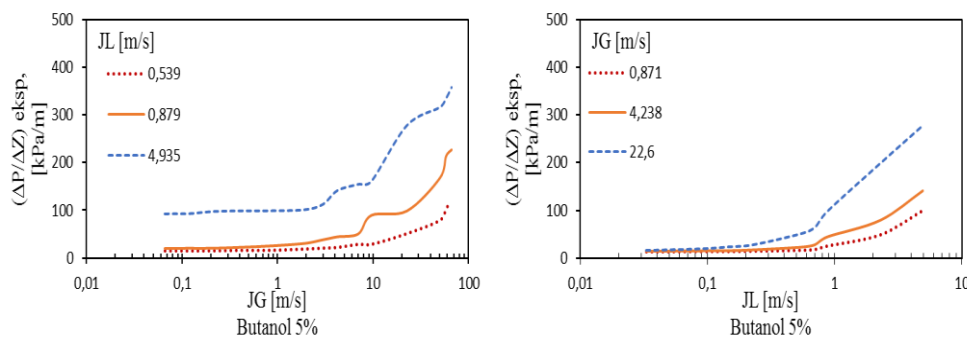


Gambar 7. (a) Peta pola aliran dan garis transisi dari penelitian ini (b) Perbandingan garis transisi peta pola aliran dengan peneliti terdahulu.

3.2 Gradien Tekanan

Pada penelitian ini kecepatan 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 8. (a) dan 8. (b) 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 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.

Daftar Pustaka

Journal:

- Abubakar, A., Al-Wahaibi, Y., Al-Wahaibi, T., Al-Hashmi, A., Al-Ajmi, A., & Eshrati, 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.
- 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, 5185–5192.
- 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.
- Jayadi, F., Sudarja., Diko, Indarto, Deendarlianto. (2015). Pola Aliran Air-Udara dan Campuran Gliserin-Air dan Udara pada Pipa Horizontal Berukuran Mini. *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada 2015*.
- 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*, 27(5), 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.
- Lin, P.Y. and Hanratty, T.J. (1987). Effect of Pipe Diameter on flow patterns for air-water flow in horizontal. *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 13, No. 4 ,pp. 549-563.
- Mandhane, J.M., Gregory, G.A., Aziz, K. (1974). A flow pattern map for gas-liquid flow in horizontal and inclined pipes, *International Journal of Multiphase Flow* 1 pp. 537-553
- 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.
- Serizawa, A., Feng, Z., Kawara, Z., 2002, Two-Phase Flow in Microchannels, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 26, pp. 703-714.
- Spedding, P. L., & Nguyen, V. T. (1980). Regime maps for air water two phase flow. *Chemical Engineering Science*, 35(4), 779–793.

- Spedding, P. L., & Spence, D. R. (1993). Flow regimes in two-phase gas-liquid flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 19(2), 245–280.
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, Noverdi, R., & Gutama, A. (2014). Investigasi Pola Aliran Dua-Fase Gas-Cairan Di Dalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horisontal. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII)*.
- 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
- 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.
- Wegmann, Adrian, 2005, Multiphase Flows in Small Scale Pipes, Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
- 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.