

## INVESTIGASI GRADIEN TEKANAN DUA – FASE UDARA – AIR DAN GLISERIN (0-30%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 45<sup>0</sup> TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Wibisono Gunawan<sup>a</sup>, Sukamta<sup>b</sup>, Sudarja<sup>c</sup>

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

<sup>a</sup>[Wibigs23@gmail.com](mailto:Wibigs23@gmail.com), <sup>b</sup>[msukamta@gmail.com](mailto:msukamta@gmail.com), <sup>c</sup>[sudarja\\_msn@yahoo.com](mailto:sudarja_msn@yahoo.com)

### Abstrak

Aliran dua fase adalah aliran aliran multifase yang paling sederhana. Aliran dua fase terdiri dari 3 keadaan yaitu liquid-solid, gas-liquid dan gas-solid. Karakteristik dasar dari aliran dua fase meliputi pola aliran dan peta pola aliran, fraksi hampa, dan gradien tekanan. Pada penelitian ini akan dibahas tentang investigasi gradien tekanan pada aliran dua fase. Gradien tekanan digunakan pada dunia industri perpipaan untuk mengetahui tekanan fluida pada aliran didalam pipa. Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa gelas yang memiliki diameter 1,6 mm dengan sudut kemiringan 45<sup>0</sup> terhadap posisi horisontal. Cairan yang digunakan adalah campuran air dan gliserin dengan presentasi 0%, 10%, 20%, dan 30%. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ), liquid ( $J_L$ ) dan pengaruh viskositas terhadap gradien tekanan. Untuk mendapatkan data gradien tekanan yaitu dengan menggunakan sensor tekanan fluida MPX system yang dapat mendeteksi adanya beda tekanan atau penurunan tekanan pada suatu aliran yang dihubungkan dengan komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai gradien tekanan dipengaruhi oleh kecepatan cairan, gas dan viskositas. Pengaruh  $J_L$  pada kisaran 0,033, 0,539, 0,879, 2,297 dan 4,935 m/s dengan memvariasikan  $J_G$  (0 - 66,3) m/s dan  $J_G$  pada kisaran 0,025; 9,62, 22,6, 50 dan 66,3 m/s dengan memvariasikan  $J_L$  (0,033 - 4,935) m/s mengalami peningkatan pada gradien tekanan disetiap kenaikan nilai  $J_G$  dan  $J_L$  yang divariasikan. Viskositas juga mempengaruhi gradien tekanan, dari hasil penelitian data pada GL 0%, 10%, 20%, dan 30% dengan memvariasikan  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s. Hal ini menunjukkan dengan meningkatnya viskositas cairan maka gradien tekanan yang dihasilkan akan meningkat.

**Kata kunci:** dua fase, gradien tekanan, pipa kapiler, kecepatan superfisial, viskositas

### Abstract

Two-phase flow is a stream of the most simple of multiphase flow. The two-phase flow consists of 3 states, namely liquid-solid, gas-liquid and gas-solid. Basic characteristics of two-phase flow include flow patterns and flow pattern maps, vacuum fractions, and pressure gradients. This research will discuss the investigation of pressure gradients in two-phase flow. Pressure gradients are used in the piping industry to determine the pressure of the fluid in the flow in the pipe. This research was conducted in the test section in the form of a glass pipe that has a diameter of 1.6 mm with a slope angle of 450 towards the horizontal position. The liquid used is a mixture of water and glycerin with presentations of 0%, 10%, 20%, and 30%. This research was conducted to determine the effect of superficial gas (JG), liquid (JL) velocity and the effect of viscosity on pressure gradients. To get the pressure gradient data using the MPX system's fluid pressure sensor that can detect any pressure difference or pressure drop in a flow that is connected to a computer. The results showed that the pressure gradient is influenced by the velocity of the liquid, gas and viscosity. The influence of JL in the range of 0.033, 0.539, 0.879, 2.297 and 4.935 m / s by varying JG (0 - 66.3) m / s and JG in the range of 0.025; 9.62, 22.6, 50 and 66.3 m / s by varying JL (0.033 - 4.935) m / s experienced an increase in the pressure gradient with each increase in the value of the JG and JL varied. Viscosity also affects the pressure gradient, from the results of research data on GL 0%, 10%, 20%, and 30% by varying JG = 0.423 m / s and JL = 4.935 m / s. This shows that as the viscosity of the liquid increases, the resulting pressure gradient will increase.

**Keyword:** two-phase, pressure gradient, capillary pipe, superficial velocity, viscosity

## 1. Pendahuluan

Aliran dua fase merupakan bagian dari aliran multi fase yang paling sederhana karena terdapat dua jenis fase yang secara bersamaan mengalir, baik antara padat - cair, cair - gas atau gas - padat. Berdasarkan arahnya, aliran dua fase dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu aliran satu arah dan aliran berlawanan arah. Sedangkan berdasarkan posisi saluran, aliran dua fase dapat dibedakan menjadi tiga yaitu aliran horizontal, aliran vertikal dan arah aliran miring. Interaksi antar fase dapat membentuk karakteristik, antara lain : pola aliran (*flow pattern*) dan peta pola aliran (*flow pattern map*), fraksi hampa (*void fraction*) dan gradien tekanan (*pressure gradient*).

Pada umumnya banyak orang menggunakan pipa berukuran besar dan normal sebagai sarana untuk melakukan penelitian tentang aliran dua fase. Sedangkan untuk pipa berukuran mini dan mikro sebagai sarana penelitian belumlah sebanyak pipa berukuran besar dan normal. Sementara ini perkembangan teknologi global semakin mengarah untuk menghasilkan produk yang kecil dan kompak hampir di semua bidang.

Gradien tekanan adalah penurunan tekanan per satuan panjang. Gradien tekanan banyak digunakan pada dunia industri perpipaan yang digunakan untuk mengetahui perbedaan tekanan fluida pada pipa. Pipa yang digunakan dalam penelitian aliran dua fase bermacam – macam, diantaranya saluran pipa berukuran nano (*nano channel*), mikro (*micro channel*), mini (*mini channel*), normal (*normal channel*), saluran pipa berukuran besar (*large channel*) dan pada penelitian ini dilakukan pengukuran viskositas dengan menggunakan kecepatan superfisial gas (JG) dan kecepatan superfisial liquid (JL) secara bervariasi. Gradien tekanan diperoleh dengan mengolah data yang didapatkan dari pengendali mikro *single-board* yaitu *Pressure Transducer MPX System*. Metode ini mampu memberikan data yang sangat banyak dalam kurun waktu yang singkat dan akurat.

Salah satu yang mempengaruhi gradien tekanan adalah viskositas. Selain itu, kecepatan superfisial gas dan cairan juga berpengaruh terhadap gradien tekanan secara signifikan. Penelitian gradien tekanan sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti, Dutkowski, (2009) meneliti penurunan tekanan aliran dua fase pada pipa berukuran mini. Barreto dkk (2015) meneliti karakteristik pola aliran dua fase karena adanya gradien

tekanan. Sementara itu, penelitian tentang penurunan tekanan aliran dua fase yang diukur secara eksperimental dalam aliran kondensasi dan evaporasi dilakukan oleh (Ramirez-Rivera dkk., 2015).

Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian mengenai investigasi gradien tekanan dua fase udara-air dan gliserin pada pipa kapiler dengan kemiringan  $45^{\circ}$  terhadap posisi horisontal. Gliserin yang digunakan memiliki sifat yang mudah bercampur dengan air sehingga memungkinkan untuk viskositas cairan yang akan divariasikan.

## 2. Tinjauan Pustaka

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

Penelitian yang dilakukan oleh Triplett dkk. (1999) mengenai fraksi hampa dan penurunan tekanan akibat gesekan aliran dua fase udara - air pada pipa berukuran mikro. Percobaan dilakukan menggunakan pipa berdiameter dalam 1,1 mm dan 1,45 mm. Kecepatan superfisial gas dan *liquid* yang digunakan antara 0,02 - 80 m/s dan 0,02 - 8 m/s. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang banyak digunakan untuk menghitung fraksi hampa dan penurunan tekanan yaitu menggunakan model aliran homogen.

Penelitian tentang penurunan tekanan aliran dua fase dengan menggunakan fluida gas dan minyak dilakukan Khaledi dkk. (2014). Diameter dalam pipa yang digunakan adalah 69 mm. Hasil pengukuran didapat gradien tekanan yang menunjukkan deviasi dengan kondisi yang identik. Penurunan tekanan pada penelitian tersebut dapat diprediksi dengan baik, tetapi ada beberapa percobaan yang penurunan tekanannya terprediksi kurang baik dikarenakan alat yang digunakan hanya bisa memprediksi aliran laminar atau transisi dalam *slug*.

Ismail dkk. (2015) melakukan penelitian tentang investigasi penurunan gradien tekanan dua fase minyak - air dalam pipa horizontal. Penelitian tersebut dilakukan untuk aliran dua fase minyak - air dalam loop aliran 5,08 cm. Pada penelitian tersebut terjadi penurunan tekanan dan penumpukan cairan pada laju aliran yang berbeda dari aliran dua fase minyak - air. Penurunan tekanan tertinggi yang diperoleh adalah 11,58 kPa pada debit maksimum yaitu 16,21 cm<sup>3</sup>/s dan fraksi minyak 0,9. Penurunan tekanan terendah 1,31 kPa pada debit terendah yaitu 2,30 cm<sup>3</sup>/s dan fraksi air 0,9.

Mukhaimer dkk. (2015) Sebelumnya pernah melakukan penelitian tentang pola aliran dan penurunan tekanan minyak - air yang memiliki viskositas rendah pada pipa horizontal. Tujuan peneltan untuk menghitung penurunan tekanan minyak – air untuk mendapatkan viskositas campuran. Pada penelitian tersebut menghasilkan bahwa titik inversi itu sangat bergantung pada kecepatan aliran. Profil penurunan tekanan yang didapat bervariasi karena fraksi minyak mencapai nilai minimum dan maksimum sesuai dengan titik inversi. Puncak pada titik inversi untuk minyak viskositas rendah tidak terlalu jelas, khususnya jika kecepatan aliran kurang dari 4 m/s.

Sudarja dkk. (2016) melakukan penelitian tentang gradien tekanan aliran dua fase gas - air dengan larutan gliserin sebesar 20%. Penelitian ini dilakukan pada pipa kaca dengan diameter dalam 1,6 mm. Kecepatan superfisial gas dan cairan masing-masing sebesar 0,025 - 66,3 m/s dan 0,033 - 4,935 m/s. Gambar 2.4(A) menunjukkan pengaruh nilai  $J_L$  terhadap gradien tekanan dengan nilai  $J_G$  yang bervariasi, sedangkan pada Gambar 2.4(B) menunjukkan pengaruh nilai  $J_G$  terhadap gradien tekanan dengan  $J_L$  yang bervariasi. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan superfisial gas maupun cairan sangat mempengaruhi nilai gradien tekanan. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi  $J_G$  maka akan menyebabkan kenaikan nilai pada gradien tekanan. Demikian pula dengan  $J_L$ .

Layssac, T., dkk (2018) melakukan sebuah studi eksperimental R245fa aliran dua fase dalam saluran melingkar diameter dalam 1,6 mm disajikan dalam kondisi adiabatik dan diabetes. Bagian uji terdiri dari tabung safir yang dilapisi dengan ITO, yang memungkinkan transparansi total evaporator. Efek kecenderungan pada pola aliran dan tetesan tekanan disajikan dan dibahas untuk berbagai kualitas uap dan kecepatan massa dan suhu saturasi 81° C, sesuai dengan nomor Bond 4.2. Untuk setiap kondisi eksperimental, penurunan tekanan diukur dan aliran divisualisasikan di bawah sebelas konfigurasi kemiringan dari aliran vertikal ke bawah (-90 °) ke aliran vertikal ke atas (+ 90 °). Transisi pola aliran dibandingkan dengan dua peta pola aliran yang tersedia dalam literatur. Efek fluks panas pada pola aliran dianalisis dan menunjukkan hilangnya aliran bertingkat untuk aliran ke bawah dalam kasus aliran inersia rendah. Sebuah studi tentang pengaruh kecenderungan pada gradien tekanan total dan gesekan juga dipimpin. Pengamatan dibandingkan dengan beberapa model literatur. Model-model ini menunjukkan kesepakatan yang baik untuk memprediksi gradien tekanan untuk aliran ke atas. Akhirnya, efek dari fluks panas pada variasi penurunan tekanan dengan analisis dianalisis. Ini menunjukkan peningkatan umum dari penurunan tekanan karena gaya gravitasi dan gesekan dengan fluks panas untuk kualitas uap rendah, apa pun kecenderungan yang dianggap. Offset ini berkurang dengan kualitas uap

Del Col, D., dkk (2013) telah melakukan penelitian tentang penurunan tekanan gesekan pada pipa *minichannels* cairan-uap adiabatik. Data penurunan tekanan eksperimental baru, relatif terhadap aliran dua fase di dalam saluran horizontal dan *noncircular* horizontal dengan diameter hidrolis mulai dari 0,96 mm hingga 2 mm. Dengan hasil data penurunan tekanan dua fase yang diambil di dalam saluran mini tunggal yang memiliki bentuk, diameter dan kekasaran relatif yang berbeda disajikan dalam makalah ini. Basis data baru mengacu pada aliran dua fasa aliran R134a, R1234yf, R32, dan R245 fainide melingkar, persegi dan saluran bentuk tidak beraturan, dengan diameter hidraulik mulai dari 0,96 mm hingga 2 mm dan kekasaran relatif mulai dari 0,0017 hingga 0,003. meskipun deviasi rata-rata relatif rendah, model ini cenderung untuk melebih-lebihkan tekanan bilangan Reynolds yang hanya mengandung cairan yang rendah.

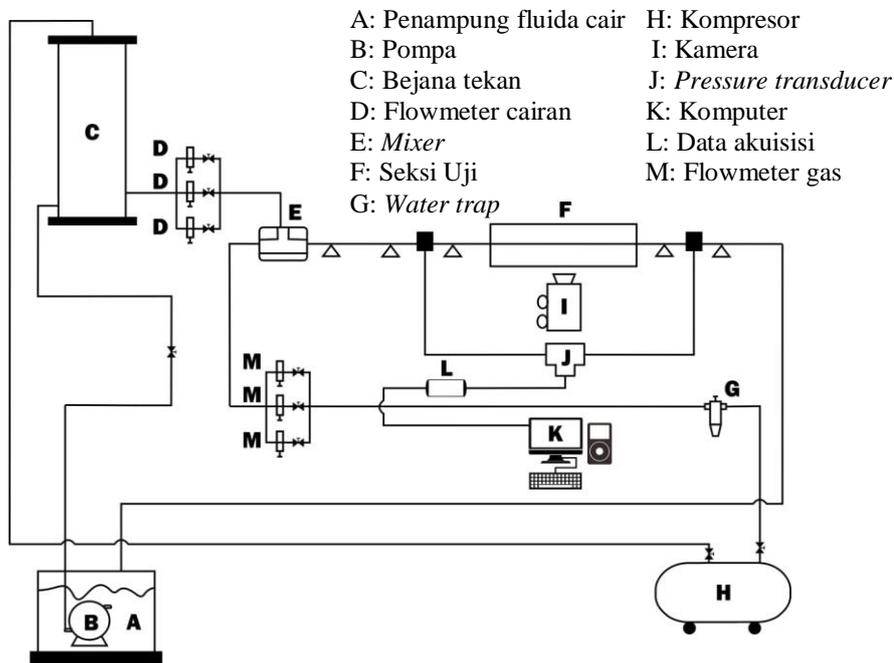
Murphy., dkk (2019) telah melakukan eksperimen dan model untuk penurunan tekanan tabung dan karakteristik perpindahan panas selama kondensasi propana pada fluks massa rendah ( $G = 75-150 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) dalam saluran vertikal ( $D = 1,93 \text{ mm}$ ) memiliki dua suhu yaitu ( $T_{\text{sat}} = 47^\circ \text{ C}$  dan  $74^\circ \text{ C}$ ). Untuk kondisi di bawah pertimbangan dalam penelitian ini, koefisien perpindahan panas tampaknya meningkat dengan peningkatan suhu ransum, sedangkan tren gradien tekanan gesekan menjadi relatif tidak sensitif terhadap peningkatan suhu. Dua model yang dikembangkan di sini untuk penurunan tekanan gesek dan koefisien perpindahan panas kondensasi menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam memprediksi tren yang diamati.

Rahman, M., dkk (2017) meneliti tentang penurunan tekanan dua fase adiabatik eksperimental R134a dalam saluran halus dan alur yang memiliki 20 saluran dengan diameter hidrolis masing-masing 0,81 mm dan 0,64 mm. Pengukuran penurunan tekanan dilakukan di bawah kisaran fluks massa 50-200 kg / m<sup>2</sup>, rentang suhu saturasi 30-35 0C, dan kisaran kualitas uap inlet 0,1-0,9. Efek fluks massa, suhu saturasi, kualitas uap saluran masuk dan geometri saluran pada penurunan tekanan diselidiki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fluks massa, kualitas uap saluran masuk, suhu saturasi dan ukuran saluran memainkan peran penting dalam meningkatkan atau mengurangi penurunan tekanan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penurunan tekanan total didominasi oleh penurunan tekanan gesekan.

### 3. Metode Penelitian

Bahan penelitian berupa fluida gas dan cair. Fluida gas yang digunakan adalah udara yang memiliki kelembaban rendah yang didapat dari kompresor yang telah dilengkapi dengan *water trap*, sedangkan untuk fluida cair yang digunakan adalah campuran air dan gliserin 0%, 10%, 20% dan 30% yang dialirkan ke dalam bejana bertekanan dengan bantuan pompa. Penelitian ini dilakukan pada kecepatan superfisial gas ( $J_G = 0,025 - 66,3 \text{ m/s}$ ) dan kecepatan superfisial cairan ( $J_L = 0,033 - 4,935 \text{ m/s}$ ). 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*.



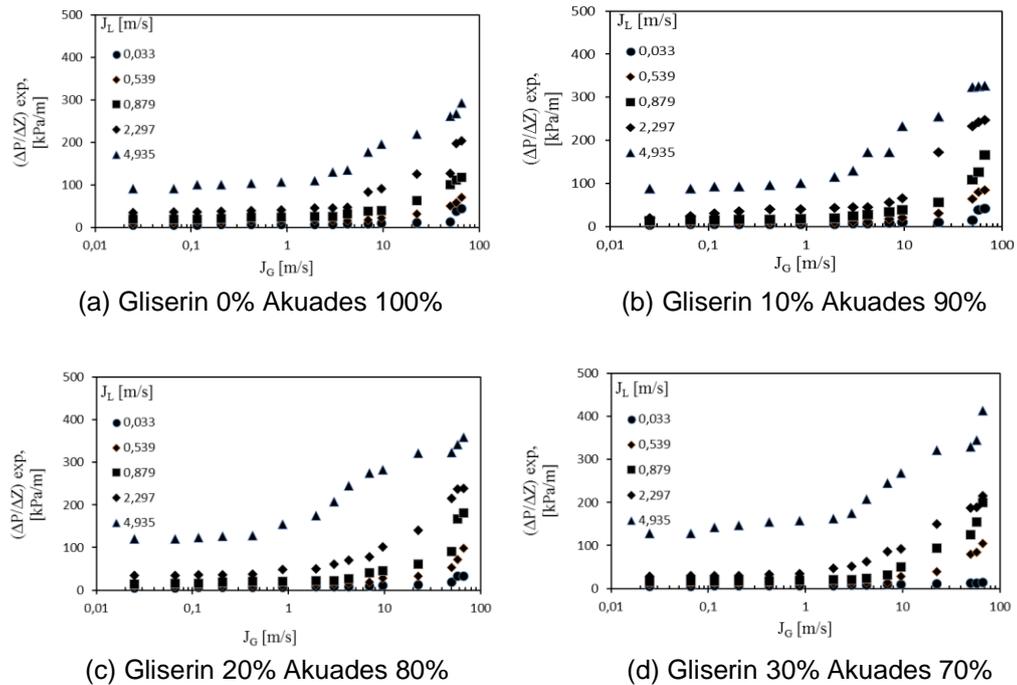
Gambar 1. Skema alat penelitian

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Gradien Tekanan

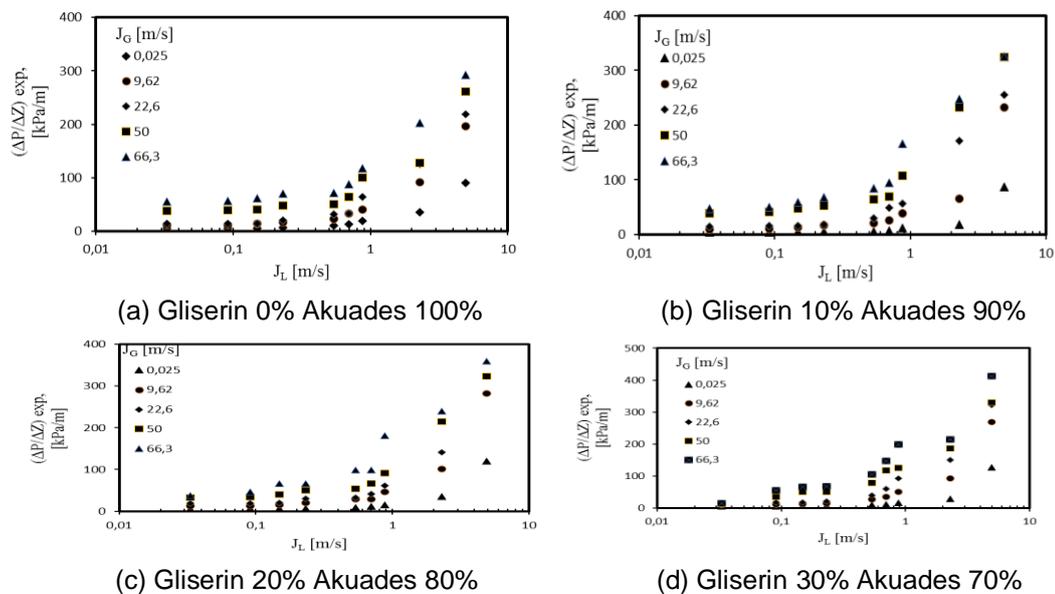
Penelitian gradien tekanan ini dilakukan pada pipa mini yang berukuran 1,6 mm dan diaplikasikan dengan derajat kemiringan sebesar  $45^{\circ}$  dengan campuran cairan gliserin dan akuades yang mana masing- masing campuran mengandung 0%, 10%, 20%, 30% gliserin. Tahap selanjutnya, mengalirkan fluida dengan mengatur kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ) dan pada *flowmeter* gas dan cair. Melakukan pengamatan dengan komputer yang sudah terhubung dengan akuisisi data dan *pressure transducer*. Data didapatkan dari alat *MPX* dengan mengambil sebanyak 3000 data/menit dengan satuan volt.

#### 4.1.1 Pengaruh Kecepatan Superfisial Liquid Terhadap Gradien Tekanan Pada Aliran Dua Fasa Udara – Air Gliserin (0-30%)



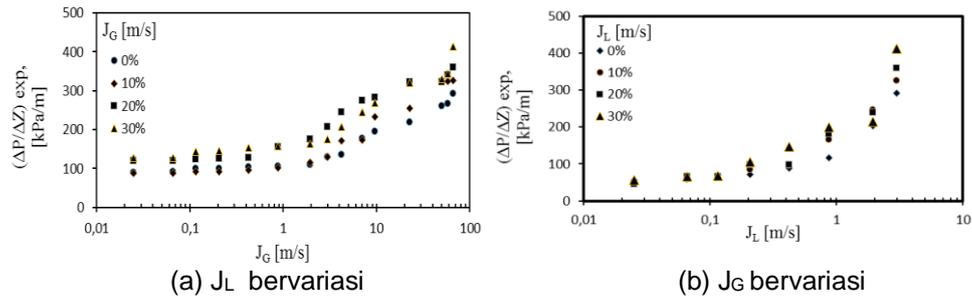
Gambar 2. Pengaruh  $J_L$  pada (a)  $J_L = 0,033 - 4,935$  m/s terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$ , (b)  $J_L = 0,033 - 4,935$  m/s terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$ , (c)  $J_L = 0,033 - 4,935$  m/s terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$ , (d)  $J_L = 0,033 - 4,935$  m/s terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$ .

#### 4.1.2 Pengaruh Kecepatan Superfisial Gas Terhadap Gradien Tekanan Pada Aliran Dua Fasa Udara – Air Gliserin (0-30%)



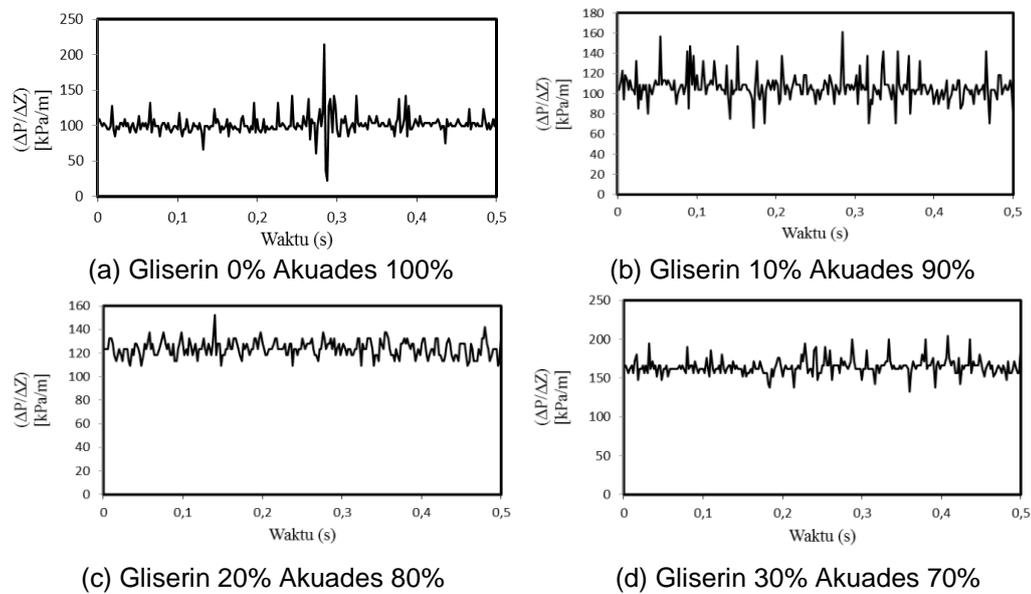
Gambar 3. Pengaruh  $J_G$  pada (a)  $J_G = 0,025-66,3$  m/s terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$ , (b)  $J_G = 0,025-66,3$  m/s terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$ , (c)  $J_G = 0,025-66,3$  m/s terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$ , (d)  $J_G = 0,025-66,3$  m/s terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$ .

### 4.1.3 Pengaruh Viskositas Cairan Terhadap Gradien Tekanan



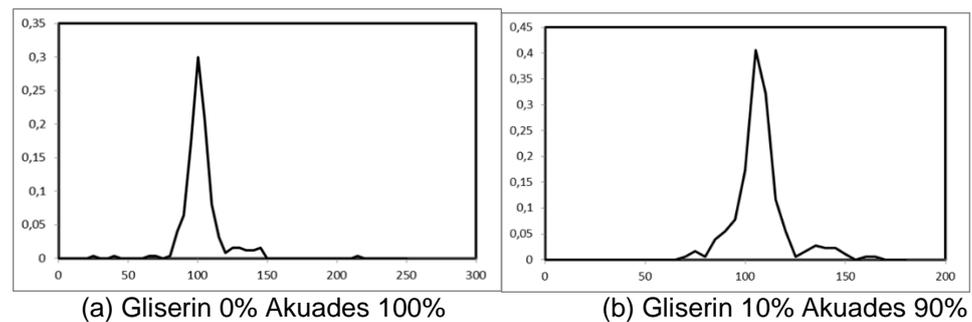
Gambar 4. Pengaruh viskositas fluida terhadap gradien tekanan pada (a)  $J_G = 66,3$  m/s dan  $J_L$  bervariasi pada konsentrasi (0-30 %), (b)  $J_L = 4,935$  m/s dan  $J_G$  bervariasi pada konsentrasi (0-30 %)

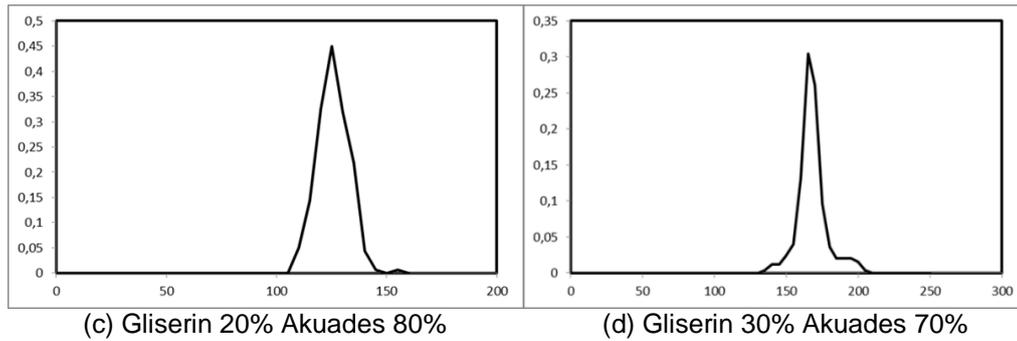
### 4.1.4 Grafik Time Series Gradien Tekanan



Gambar 5. Grafik Time Series Gradien Tekanan pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s, (b)  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s, (c)  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s, (d)  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s

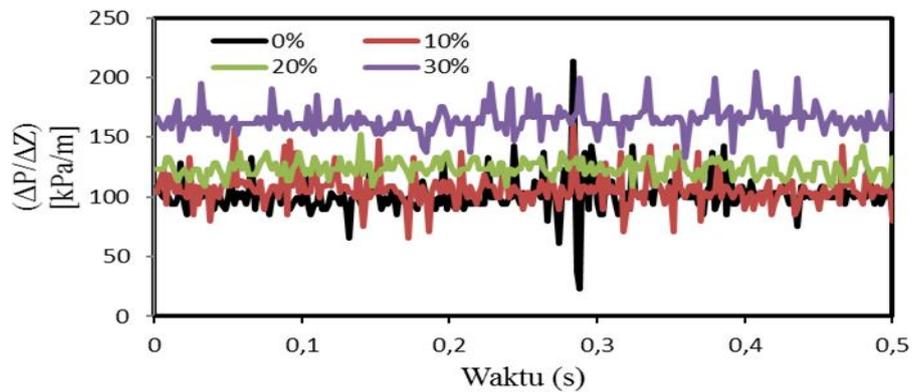
### 4.1.5 Grafik Probability Density Function (PDF) Gradien Tekanan





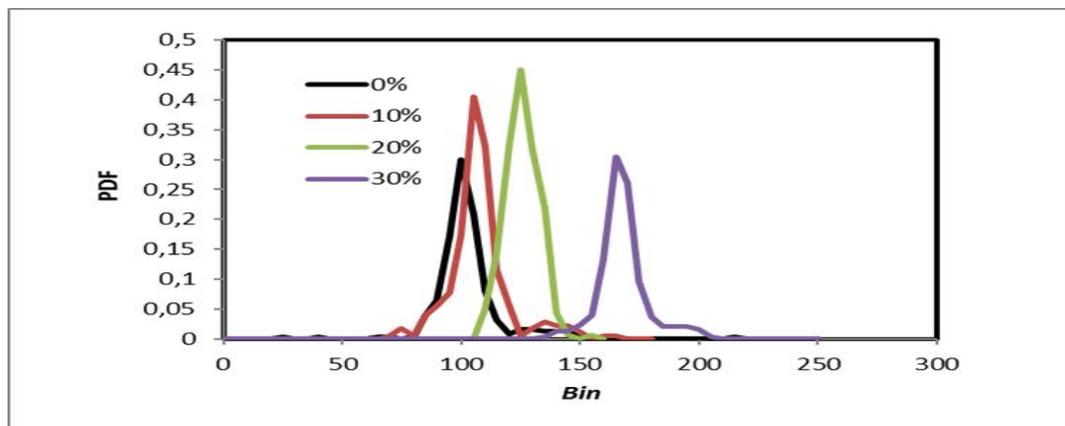
Gambar 6. Grafik Probability Density Function (PDF) pada (a)  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s, (b)  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s, (c)  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s, (d)  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 4,935$  m/s

#### 4.1.6 Grafik Perbandingan Time Series Gradien Tekanan



Gambar 7. Perbandingan time series gradien tekanan pada viskositas (0-30%)

#### 4.1.7 Grafik Perbandingan Probability Density Function (PDF) Gradien Tekanan



Gambar 8. Perbandingan Probability Density Function (PDF) Gradien Tekanan pada viskositas (0-30%)

## 5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan investigasi gradien tekanan dua – fase udara – air dan gliserin (0-30%) pada pipa kapiler dengan kemiringan 45° terhadap posisi horisontal, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ), mempengaruhi nilai gradien tekanan. Gradien tekanan mengalami peningkatan akibat pengaruh  $J_L$  dengan memvariasikan  $J_G = 0 - 66,3$  m/s. Begitu juga dengan pengaruh  $J_G$  dengan memvariasikan  $J_L = 0.033 - 4.935$  m/s semakin meningkat kecepatan superfisial gas maupun *liquid* maka gradien tekanan juga semakin meningkat.
2. Viskositas gliserin berpengaruh terhadap gradien tekanan. Hal tersebut dapat diketahui dari data hasil penelitian pada GL 0%, 10%, 20% dan 30% dengan memvariasikan kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) 0,423 m/s dan kecepatan superfisial liquid ( $J_L$ ) 4,935 m/s menunjukkan bahwa dengan meningkatnya viskositas cairan maka gradien tekanannya juga akan meningkat, sehingga gesekan fluida dengan dinding pipa akan semakin besar yang mengakibatkan peningkatan gradien tekanan.

### Daftar Pustaka

Journal:

- [1] 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2015.01.008>
- [2] Del Col, D., Bisetto, A., Bortolato, M., Torresin, D., & Rossetto, L. (2013). Experiments and updated model for two phase frictional pressure drop inside minichannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 326–337.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.07.093>
- [3] Dutkowski, K. (2009). Two-phase pressure drop of air-water in minichannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(21–22), 5185–5192.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.04.018>
- [4] Izwan Ismail, A. S., Ismail, I., Zoveidavianpoor, M., Mohsin, R., Piroozian, A., Misnan, M. S., & Sariman, M. Z. (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.  
<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.01.038>
- [5] Khaledi, H. A., Smith, I. E., Unander, T. E., & Nossen, J. (2014). Investigation of two-phase flow pattern, liquid holdup and pressure drop in viscous oil-gas flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 67, 37–51.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2014.07.006>
- [6] Layssac, T., Lips, S., & Revellin, R. (2018). Experimental study of flow boiling in an inclined mini-channel: Effect of inclination on flow pattern transitions and pressure drops. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 98, 621–633.  
<https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.07.004>
- [7] Mukhaimer, A., Al-Sarkhi, A., El Nakla, M., Ahmed, W. H., & Al-Hadhrami, L. (2015). Effect of water salinity on flow pattern and pressure drop in oil-water flow. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 128, 145–149.  
<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.02.012>
- [8] Murphy, D. L., Macdonald, M. P., Mahvi, A. J., & Garimella, S. (2019). Condensation of propane in vertical minichannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 137, 1154–1166.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.04.023>
- [9] Rahman, M. M., Bashar, K., Kudo, Y., Kariya, K., & Miyara, A. (2017). Experimental adiabatic two-phase pressure drop of R134a flowing inside a multiport minichannel. *AIP Conference Proceedings*, 1851. <https://doi.org/10.1063/1.4984688>
- [10] 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.01.014>

- [11] 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).
- [12] 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.  
[https://doi.org/10.1016/S0301-9322\(98\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0301-9322(98)00054-8)