

# INVESTIGASI GRADIEN TEKANAN DUA FASA UDARA AIR DAN GLISERIN (40-70%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 30° TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Amru Asyidiq<sup>a</sup>, Sukamta<sup>a</sup>, Sudarja<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,  
 Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183  
[amru.asyidiq.2015@ft.umy.ac.id](mailto:amru.asyidiq.2015@ft.umy.ac.id)

---

## Abstrak

Aliran dua fasa adalah aliran yang mengalir dalam pipa pada satu waktu dan area secara bersamaan dengan lebih dari satu fasa atau bentuk fluida (cair-padat, cair-gas, cair-padat-gas). Karakteristik dasar dari aliran dua fasa yaitu : pola aliran (peta pola aliran), fraksi hampa dan gradien tekanan. Pada investigasi pengujian ini digunakan campuran air-gliserin 40, 50, 60, dan 70% untuk mengetahui gradien tekanan pada pipa kapiler berdiameter dalam 1,6 (mm) dengan kemiringan bidang 30° terhadap posisi horizontal. Gradien tekanan yaitu adanya penurunan tekanan aliran persatuan panjang sepanjang lintasan aliran. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kecepatan superfisial velocity liquid (JL) dan gas (JG) dan pengaruh viskositas cairan terhadap gradien tekanan pada pipa kapiler. Alat yang digunakan yaitu *pressure transducer* MPX dan data akuisisi arduino yang dikoneksikan pada seksi uji sisi in dan out pada pipa kapiler. Proses penelitian dari pengujian yang telah dilakukan mendapatkan suatu data yaitu berupa data tegangan yang didapatkan dari *pressure transducer* MPX. Pengolahan data awal dari Arduino berupa nilai tegangan kemudian dikonversi menjadi nilai tekanan dengan menggunakan persamaan kalibrasi *pressure transducer*. Pengolahan data yang didapatkan dirata-rata menggunakan *microsoft excel* untuk menghasilkan data grafik yang bersumber pada kecepatan *superfisial liquid* dan gas. Peningkatan gradien tekanan pada pengujian yang telah dilakukan dari tiga JL [0,149, 0,539 dan 0,7 (m/s)] dengan variasi JG [0 sampai 66,3 (kPa/m)] mengalami peningkatan. Demikian juga dengan Pengaruh dari JG dengan rentang [0,066; 9,62 dan 22,6 (m/s)] dengan memvariasikan JL [0,033 - 4,935 (m/s)]. Gradien tekanan pada JG = 50 (m/s) JL = 0,033 (m/s) dengan viskositas 40% menunjukkan nilai gradien tekanan rata-rata 18.574 (kPa/m), sedangkan pada viskositas 50%, 60%, dan 70% gradien tekanan rata-rata yang dihasilkan 35.537; 141.899; dan 156.003 (kPa/m). Dengan demikian pengujian yang dilakukan menunjukkan semakin besar variasi JG JL yang digunakan dan viskositas fluida yang tinggi maka gradien tekanan yang dihasilkan semakin besar.

**Kata Kunci** : dua fasa, gradien tekanan, pipa kapiler, *superfisial velocity*, viskositas.

---

## 1. PENDAHULUAN

Aliran dua fasa adalah aliran yang mengalir dalam pipa pada satu waktu dan area secara bersamaan dengan lebih dari satu fasa/bentuk fluida (cair-gas, cair-padat, cair-padat-gas). Aliran dua fasa merupakan ilmu pengetahuan yang mengkaji parameter dasar, dengan investigasi pengujian yang dilakukan menggunakan campuran udara-air dan gliserin dengan metode aliran multi fasa yang paling sederhana. Dengan ditambahkan gliserin pada fluida, maka sifat dari fluida akan mengalami perubahan viskositas. Meningkatnya nilai viskositas suatu fluida berbanding lurus dengan gradien tekanan dari aliran fluida. Karakteristik dasar dari aliran dua fasa yaitu : pola aliran (*flow pattern*), peta pola aliran (*flow pattern map*), fraksi hampa (*void fraction*), dan gradien tekanan (*pressure gradien*). Penelitian aliran dua fasa telah dilakukan (Mishima dan Hibiki, 1996) melaporkan adanya karakteristik air-udara pada aliran dua fasa dalam diameter pada tabung vertical. Hasil investigasi didapatkan adanya penurunan tekanan total dari aliran dua fasa dengan penguraian menjadi penurunan tekanan gesekan serta di atas gelembung dari aliran terdapat adanya penurunan tekanan (Saidi dkk, 2011). (Fukano dan kariyasaki, 1993) melakukan investigasi penelitian tentang aliran dua fasa pada gas-cair

dengan investigasi pola aliran, bervariasinya waktu fraksi hampa dan gradien tekanan di dalam tabung pipa kapiler. Menunjukkan pentingnya ekspansi pada bidang aliran cairan secara tiba-tiba menyebabkan kehilangan tekanan karena terjadinya gelembung panjang. Pengaruh terbesarnya penurunan tekanan aliran disebabkan karena ukuran dari pipa bagian dalam yang kecil.

(Lee dan Lee, 2010) menunjukkan hasil penelitian penurunan tekanan aliran *plug* kering dua fasa dalam saluran pipa mini. Dari pengujian yang dilakukan menampilkan bahwa penurunan tekanan lebih besar dan kecepatan superfisial *liquid* meningkat atau dengan dikurangnya kecepatan *superfisial* gas dari meningkat banyaknya jumlah jalur gesek pada bagan uji yang bergerak. Penelitian aliran dua fasa juga dilakukan (Triplett dkk, 1999) berkonsentrasi tentang fraksi hampa dan gradien tekanan (*pressure gradien*) pada pipa mikro yang terjadi gesekan pada aliran dua fasa. Penelitian menghasilkan data signifikan untuk tekanan gesekan yang menurun dari aliran homogen karena aliran anular yang didapatkan. Investigasi experimental tentang penurunan tekanan aliran dua fasa dalam saluran pipa mini berukuran millimeter diteliti (Hassan dkk, 2006) aliran bergelembung, *intermiten*, *churn* dan *anular* merupakan aliran yang dipengaruhi oleh tegangan permukaan dan aliran dengan pengaruh inersia.

Ulasan tentang fasa tunggal dan dua fasa terhadap penurunan tekanan diserpentine saluran mini pernah dilaporkan (Macchi dkk, 2011) mengidentifikasi terhadap wilayah serpentin dengan karakteristik gradien tekanan terjadi perbedaan antara pola aliran dan luas transformasi gelembung. (Belchi dkk, 2014) melaporkan penelitian terhadap penurunan tekanan akibat adanya gesekan pada aliran dua fasa kondensasi eksperimental dalam saluran tabung pipa mini. Hasil dari pengujian menunjukkan adanya impresi suhu saturasi, kecepatan massa, kualitas uap dan karakteristik cairan terhadap gradien tekanan pada saluran tabung mini. (Sudarja dkk, 2014) melakukan investigasi penelitian pada pola aliran dua fasa gas cairan dengan berukuran pipa mini horizontal. Hasil yang didapat dari penelitian terhadap pola aliran yaitu berupa *slug*, *slug anular*, *anular*, *wavy anular*, *churn* dan *bubbly* mengindikasikan hasil tersebut paling mendekati kemiripan terhadap penelitian peta yang dilakukan oleh (Triplett dkk, 1999a). Kemudian penelitian investigasi berlanjut dilakukan oleh (Sudarja dkk, 2016) tentang karakteristik gradien tekanan aliran dua fasa dengan udara dan campuran air dan gliserin 20% pada pipa berukuran mini. Kesimpulan dari investigasi yang dilakukan menunjukkan gradien tekan sangat dipengaruhi dari besarnya kombinasi dari *superfisial* gas dan *superfisial* cairan/*liquid*. Penelitian tentang gradien tekanan selanjutnya dilakukan kembali oleh (Sudarja dkk, 2019) dengan hasil penelitian dikatakan mengenai kecepatan *superfisial* gas dan kecepatan *superfisial liquid* mempengaruhi besarnya gradien tekanan secara signifikan.

Pada investigasi pengujian gliserin ini digunakan campuran 40, 50, 60, dan 70% untuk mengetahui gradien tekanan pada pipa kapiler dengan kemiringan bidang 30° horizontal. Pada penelitian ini menggunakan pipa kapiler dengan asumsi adanya daya besar dari tegangan permukaan pada pipa kecil. Penjelasan tentang gradien tekanan yaitu adanya degenerasi tekanan aliran persatuan panjang sejauh lintasan aliran. Karena masih kurangnya kajian-kajian mengenai gradien tekanan, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk gradien tekanan pada pipa kapiler dengan ukuran mini.

## 2. METODE

### 2.1 Bahan Penelitian

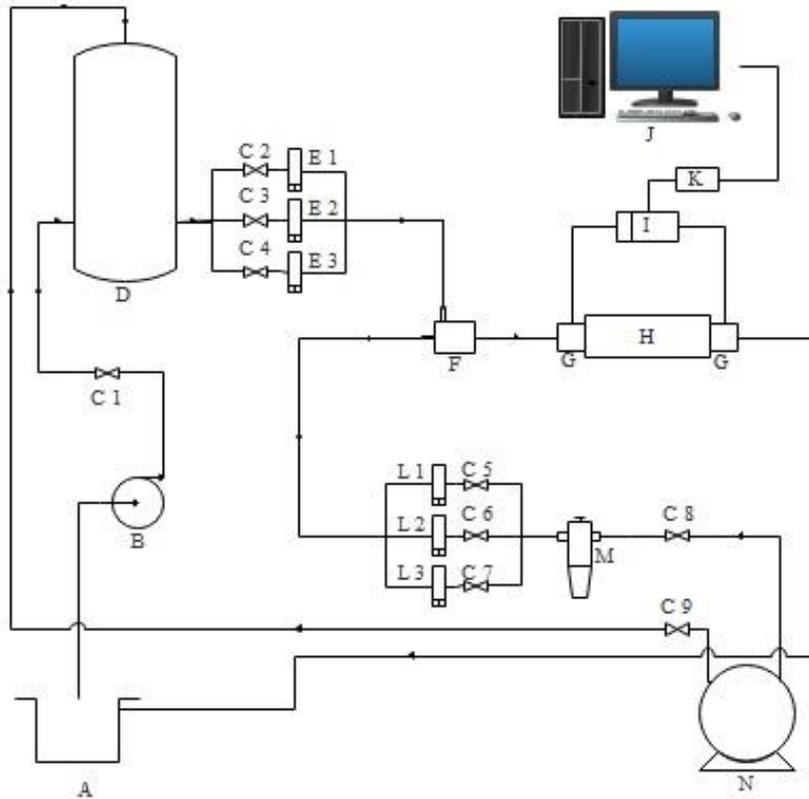
Bahan yang digunakan untuk melakukan pengujian ini adalah campuran antara aquades dan gliserin dengan empat variasi pengujian 40-70%. Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan campuran cairan gliserin yang terkecil terlebih dahulu 40%, kemudian dilakukan bertahap sampai campuran terbesar yaitu 70% gliserin. Campuran cairan aquades+gliserin dipastikan tercampur merata dengan kapasitas 15 liter yang dialirkan ke dalam bejana tekan bertekanan udara sebesar 5 bar. Kandungan dari aquades dan gliserin memiliki sifat fisik cairan berupa viskositas dinamik ( $\mu_{\text{udara}}$ )  $1,8573 \times 10^{-5}$  kg/(m.s), viskositas kinematik ( $\nu_{\text{udara}}$ )  $1,597 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s dan massa jenis ( $\rho_{\text{udara}}$ ) 1,163 kg/m<sup>3</sup>.

Tabel 2. 1 Sifat fisik Aquades (Air) dan Gliserin

Fluida	Index	Kinematic viscosity [mm <sup>2</sup> /s]	Specific gravity	Surface Tension [N/cm <sup>2</sup> ]
Aquades+40% Gliserin	G40	3,320	1,11	58,6
Aquades+50% Gliserin	G50	5,505	1,14	57,5
Aquades+60% Gliserin	G60	9,393	1,17	56,4
Aquades+70% Gliserin	G70	16,99	1,19	53,9

**2.2 Skema Alat Penelitian**

Dibawah ini merupakan serangkaian instalasi alat pengujian experimen tentang gradien tekanan dua fasa udara-air dan gliserin (40-70%) pada pipa kapiler dengan kemiringan 30° terhadap posisi horizontal.



**Gambar 2.1** Skema alat penelitian

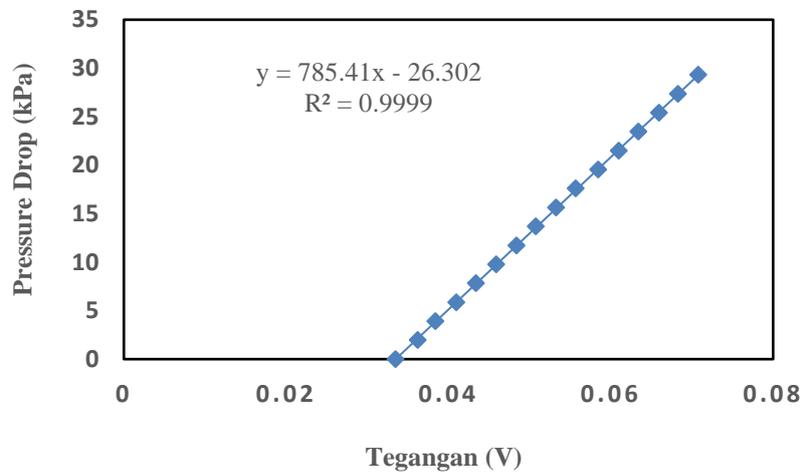
Keterangan :

- |                       |                        |                    |
|-----------------------|------------------------|--------------------|
| A = Tangki air        | F = Mixer              | K = Data akuisisi  |
| B = Pompa             | G = Seksi uji          | L = Flowmwater gas |
| C = Valve             | H = Correctionbox      | M = Watertrap      |
| D = Bejana Tekan      | I = Pressure Tranducer | N = Kompresor      |
| E = Flowmwater Liquid | J = Komputer           |                    |

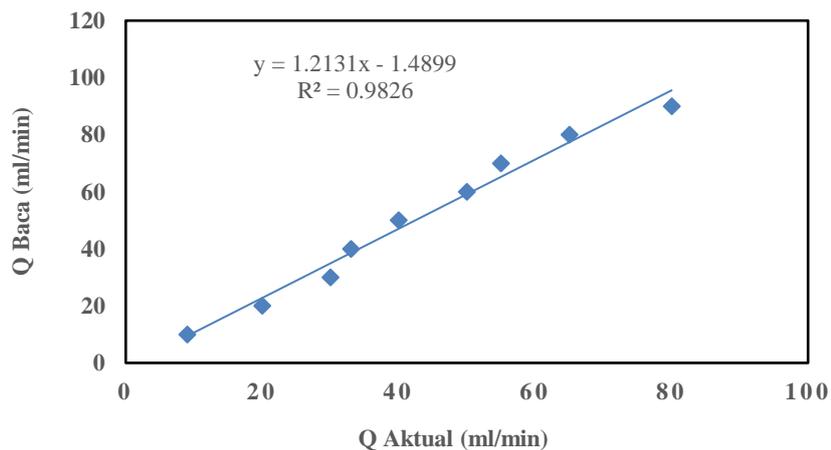
Tahapan dari aliran fluida pada skema alat di atas, campuran gliserin dan aquades dicampurkan terlebih dahulu di kontainer box air sejumlah 15 liter kemudian diinjeksikan ke dalam bejana tekan dengan tekanan udara 5 bar dengan pompa. Sirkulasi air di dalam bejana tekan akan mengalir kembali pada kontener bak air semula. Sistematis dari cairan akan dialirkan ke seksi uji melalui *flowmeter* air dahulu sebelum cairan masuk ke *mixer* dan pipa kapiler. Pipa kapiler berbahan kaca berukuran 160 (mm) dan memiliki diameter dalam 1,6 (mm) bersifat bening atau jelas.

### 2.3 Pengolahan Data

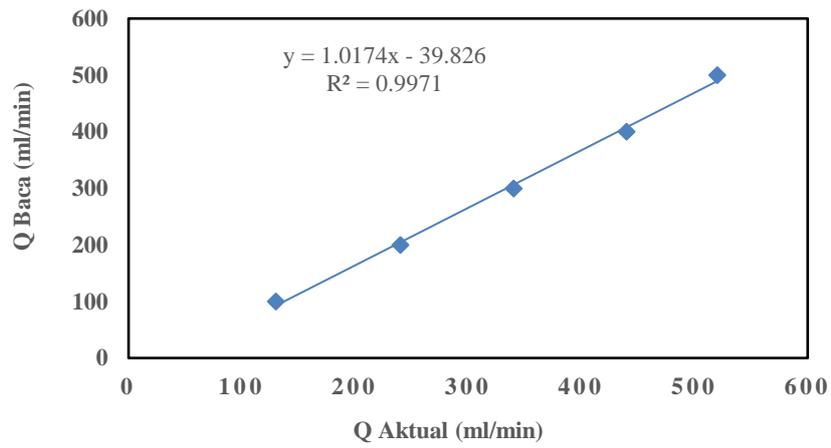
Proses penelitian dari pengujian yang telah dilakukan mendapatkan suatu data yaitu berupa data tegangan yang didapatkan dari *pressure sensor* MPX. Pengolahan data awal dari Arduino berupa nilai tegangan kemudian dikonversi menjadi nilai tekanan dengan menggunakan persamaan kalibrasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2. Pengolahan data yang didapatkan dirata-rata menggunakan *microsoft excel* untuk menghasilkan data grafik yang bersumber pada kecepatan *superfisial liquid* dan gas.



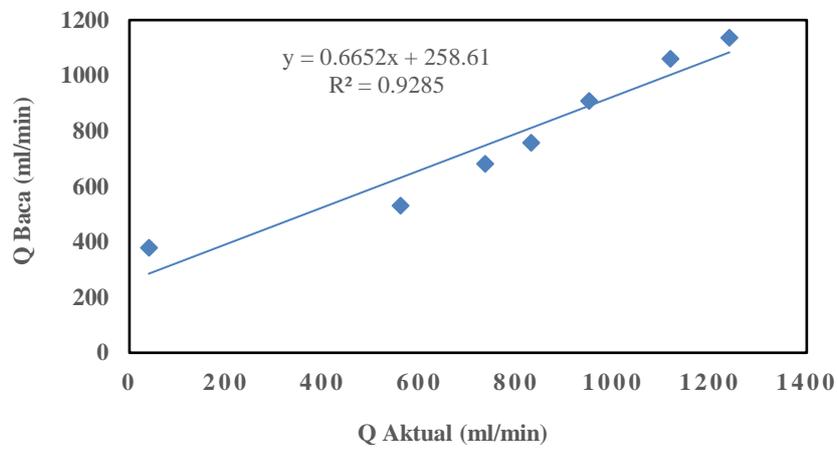
Gambar 2.2 Grafik Kalibrasi MPX



Gambar 2.3 Grafik kalibrasi *flowmeter* (0-0,1 LPM)



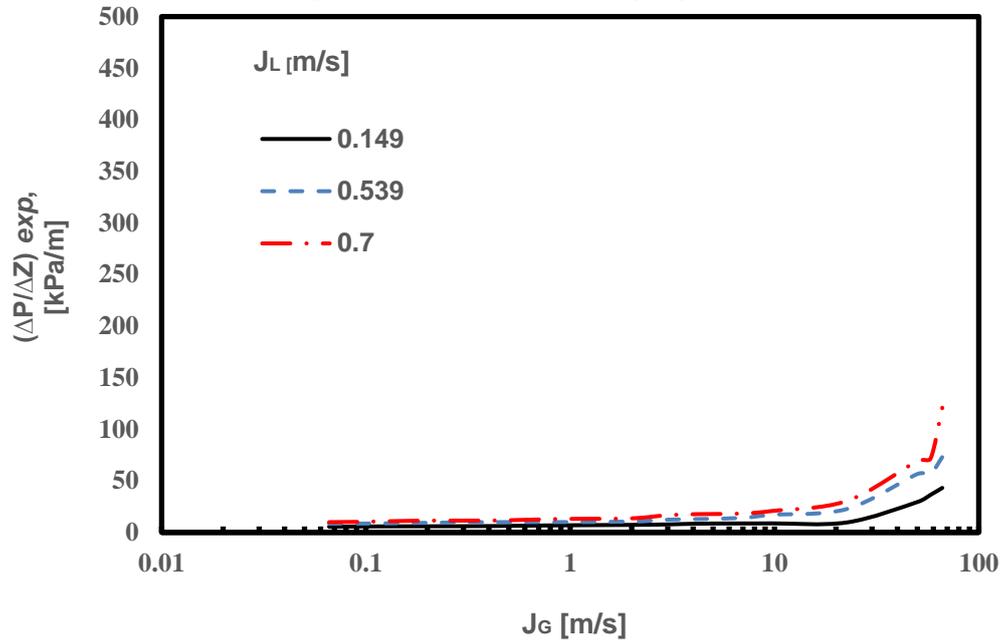
Gambar 2.4 Grafik kalibrasi *flowmeter* (0-05 LPM)



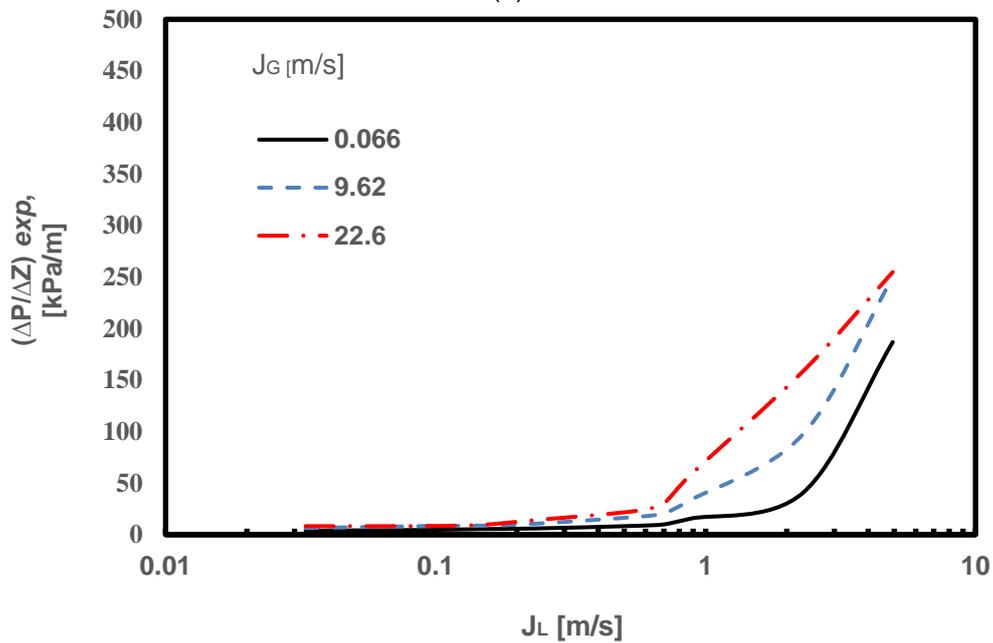
Gambar 2.5 Grafik kalibrasi *flowmeter* (0-3,785 LPM)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan Pada Aliran Dua Fasa Udara-Campuran Air dan Gliserin (GL) 40 %



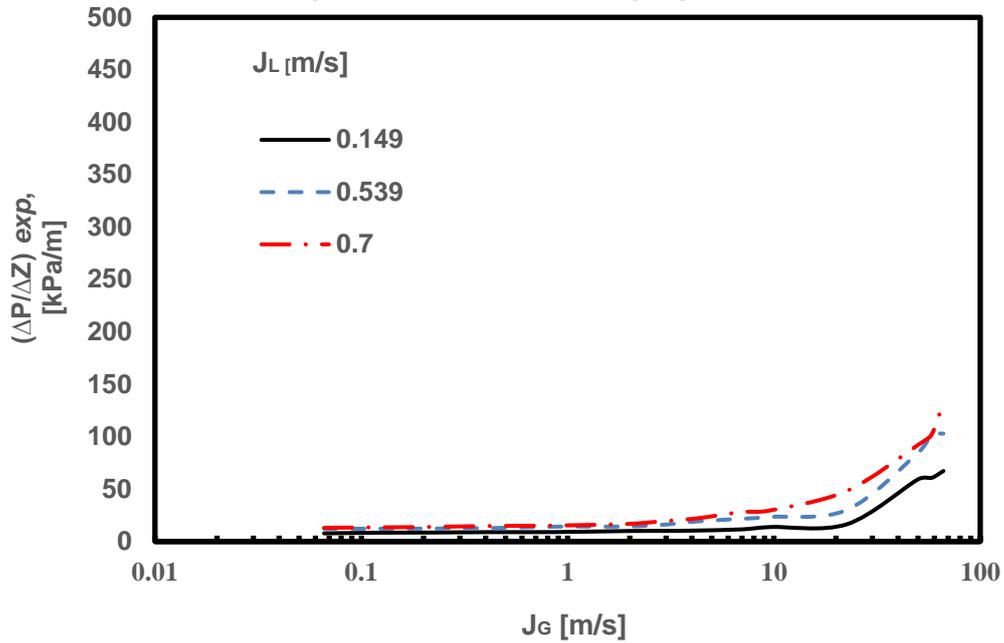
(a)



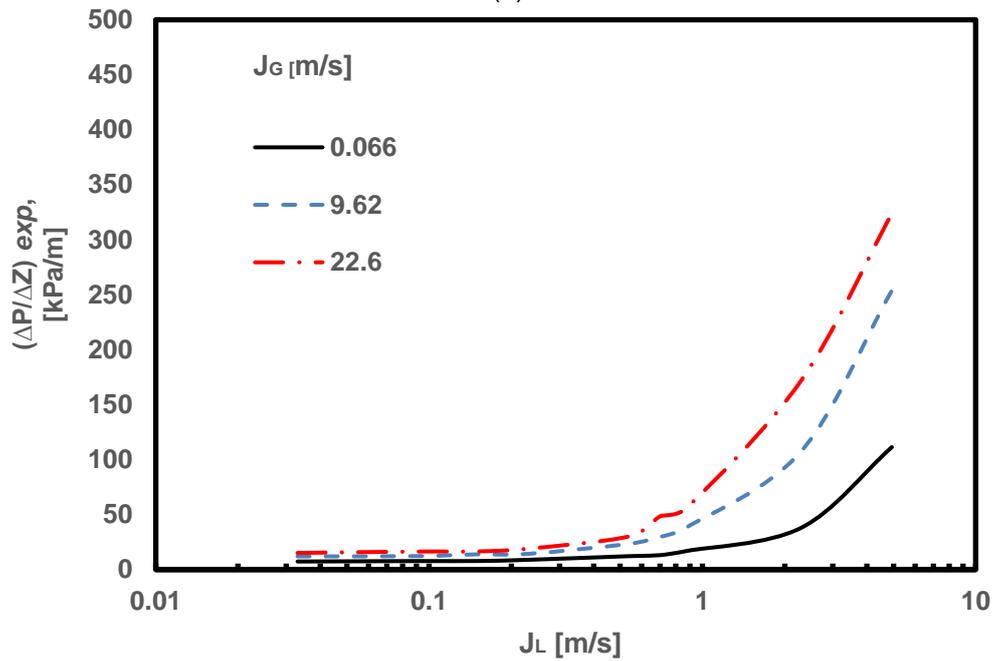
(b)

**Gambar 3.1** (a) Pengaruh  $J_L$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$  pada GL 40%,  
 (b) Pengaruh  $J_G$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$  pada GL 40%

3.2 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan Pada Aliran Dua Fasa Udara-Campuran Air dan Gliserin (GL) 50 %



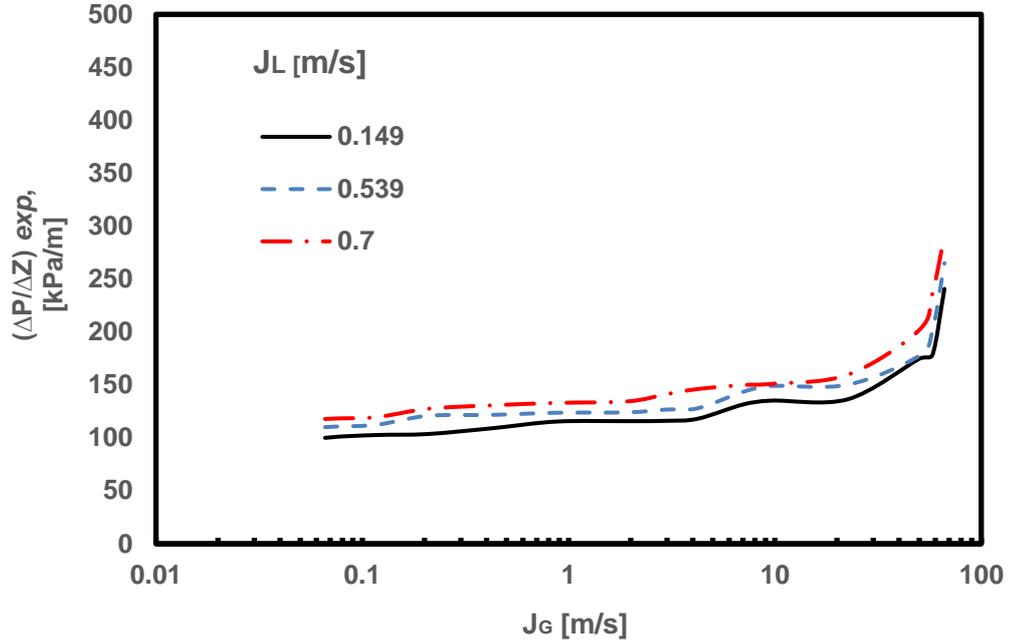
(a)



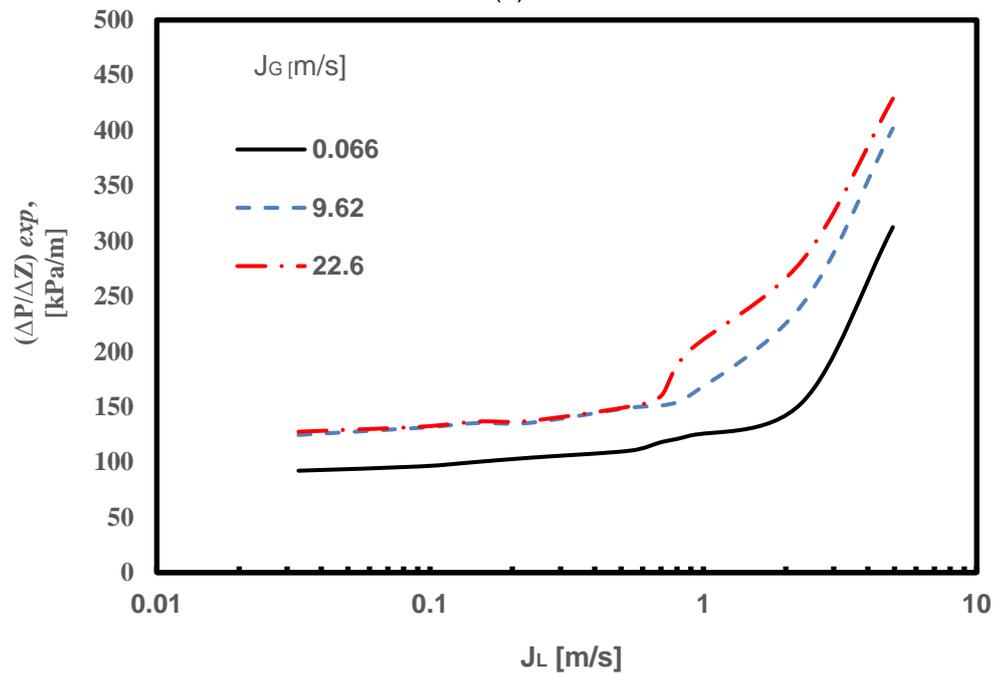
(b)

Gambar 3.2 (a) Pengaruh  $J_L$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$  pada GL 50%,  
 Pengaruh  $J_G$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$  pada GL 50%

3.3 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan Pada Aliran Dua Fasa Udara-Campuran Air dan Gliserin (GL) 60 %



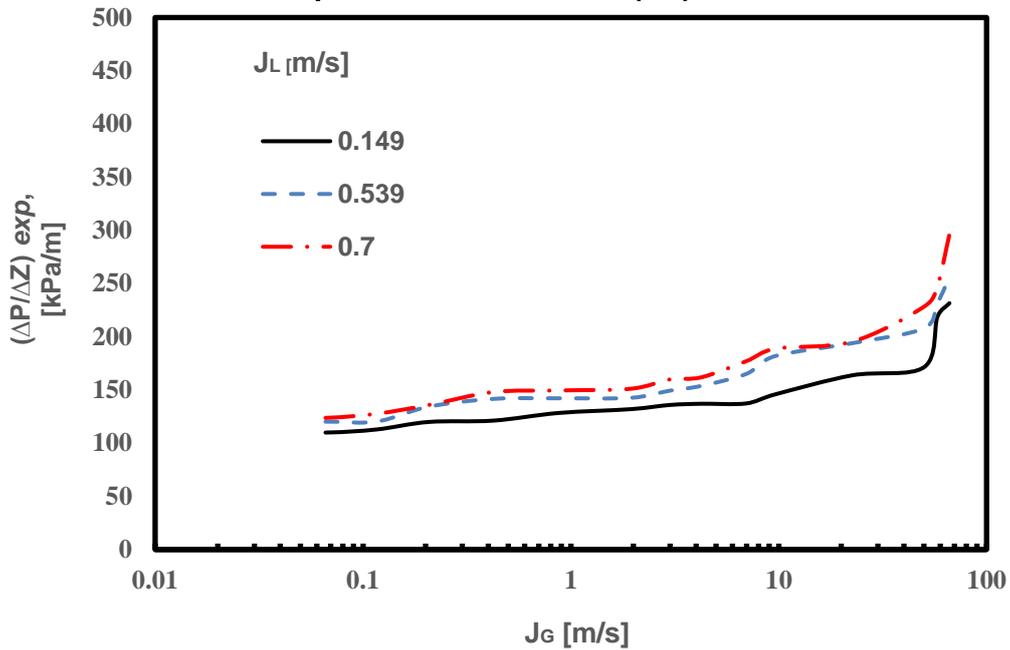
(a)



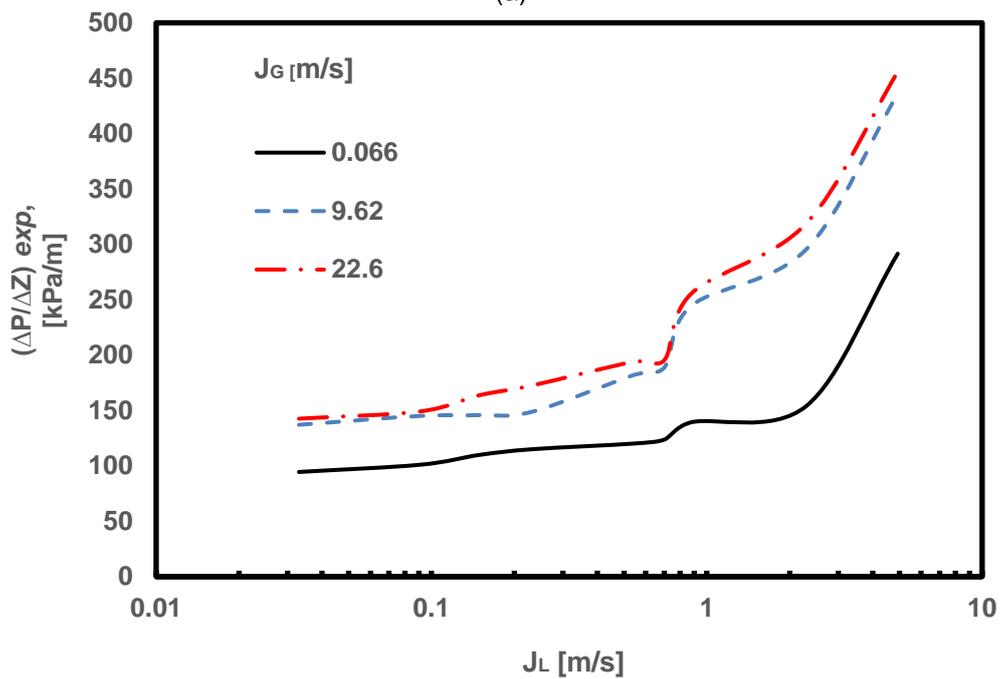
(b)

**Gambar 3.3** Pengaruh  $J_L$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$  pada GL 60%, Pengaruh  $J_G$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$  pada GL 60%

3.4 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan Pada Aliran Dua Fasa Udara-Campuran Air dan Gliserin (GL) 70 %



(a)



(b)

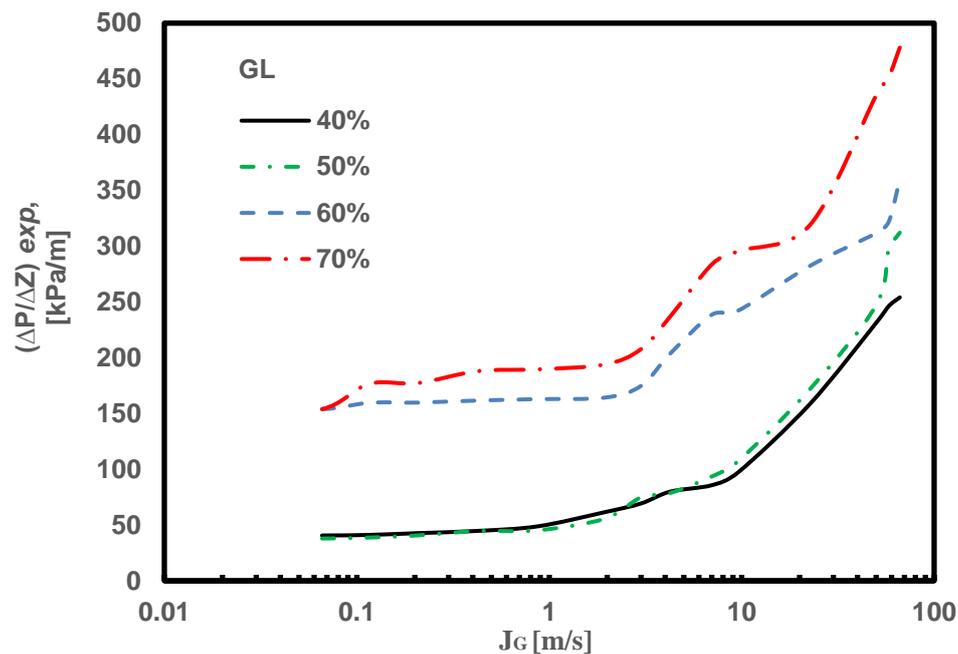
**Gambar 3.4** Pengaruh  $J_L$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_G$  pada GL 70%,  
 Pengaruh  $J_G$  terhadap gradien tekanan dengan variasi  $J_L$  pada GL 70%

Penelitian dilakukan dengan menggunakan pipa kapiler berdiameter 1,6 mm bertujuan untuk menunjukkan pengaruh perubahan kecepatan *superfisial* terhadap nilai gradien tekanan. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi kecepatan *superfisial* gas ( $J_G$ ) dan kecepatan *superfisial* liquid ( $J_L$ ). Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui efek yang ditimbulkan dari kenaikan ataupun penurunan kecepatan *superfisial* ( $J_G$ ) maupun ( $J_L$ ) terhadap gradien tekanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas berpengaruh terhadap angka *Reynold*, kemudian angka *Reynold* juga berpengaruh pada *friction factor*, sedangkan nilai dari *friction factor* mempengaruhi perbedaan tekanan.

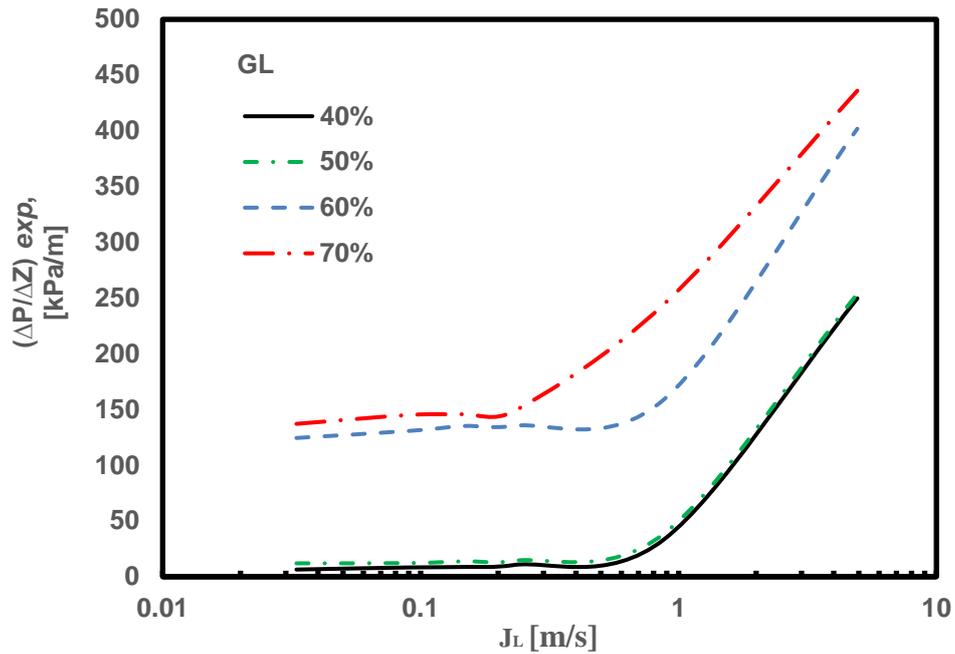
Dari gambar di atas telah ditampilkan masing-masing hasil pengujian. Gambar 4.1 (a) sampai 4.4 (a) menunjukkan pengaruh kecepatan *superfisial* liquid ( $J_L$ ) dengan beberapa variasi *superfisial* gas ( $J_G$ ). Dari hasil yang ditampilkan menunjukkan sampel dari tiga nilai  $J_L$  yaitu (0,149, 0,539 dan 0,7 [m/s]) dengan variasi  $J_G$  (0 sampai 66,3 m/s) pada setiap masing-masing  $J_L$ . Gambar 4.1 (b) sampai 4.4 (b) menunjukkan pengaruh ( $J_G$ ) terhadap variasi dari ( $J_L$ ). Setelah pengujian selesai dapat diketahui bahwa setiap kecepatan *superfisial* liquid ( $J_L$ ) dan kecepatan *superfisial* gas ( $J_G$ ) dinaikan maka hasil dari nilai gradien tekanan sebanding lurus atau juga mengalami peningkatan nilai yang lebih besar.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai gradien tekanan pada setiap variasi kecepatan *superfisial* liquid dan kecepatan *superfisial* gas mengalami kenaikan. Dibuktikan dari percobaan penelitian yang didapatkan hasil gradien tekanan dari kecepatan *superfisial* liquid terkecil sampai terbesar dan juga kecepatan *superfisial* gas dari terkecil sampai terbesar menunjukkan tren yang meningkat. Data tersebut diketahui bahwa gradien tekanan ( $\Delta P/\Delta Z$ ) merupakan fungsi dari  $J_G$  dan  $J_L$ . Hasil penelitian di atas dapat diketahui apabila semakin besar gas dan *liquid* yang diberikan pada *flowmwtter* untuk mengalir didalam pipa kapiler mendapatkan nilai gradien tekanan yang tinggi.

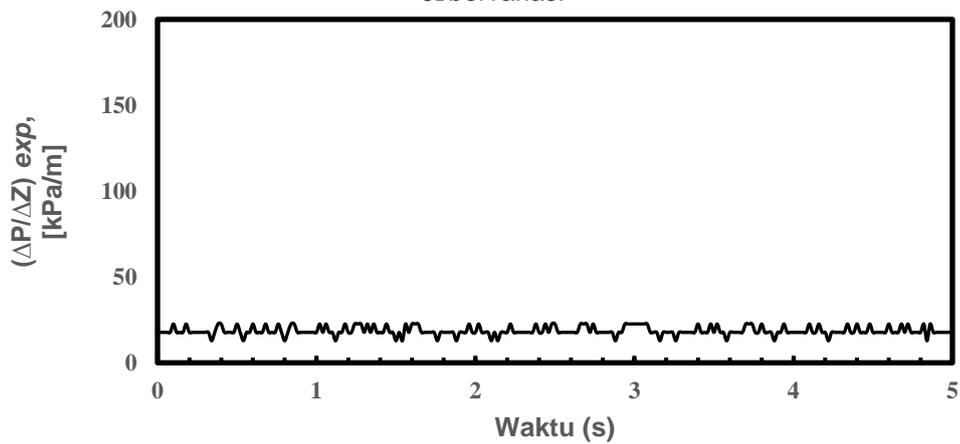
### 3.5 Pengaruh Viskositas Terhadap Gradien Tekanan.



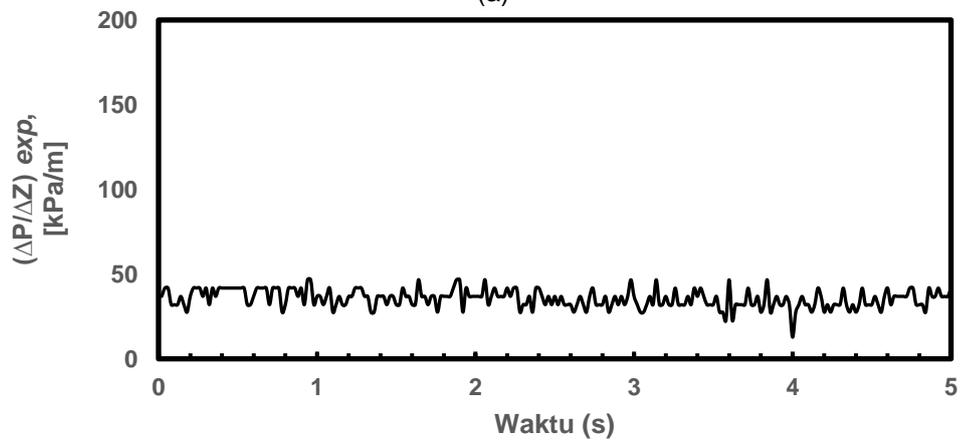
Gambar 3.5 Pengaruh viskositas fluida terhadap gradien tekanan pada  $J_L$  2,297 m/s dan  $J_G$  bervariasi



**Gambar 3.6** Pengaruh viskositas fluida terhadap gradien tekanan pada  $J_G$  3,62 m/s dan  $J_L$  bervariasi

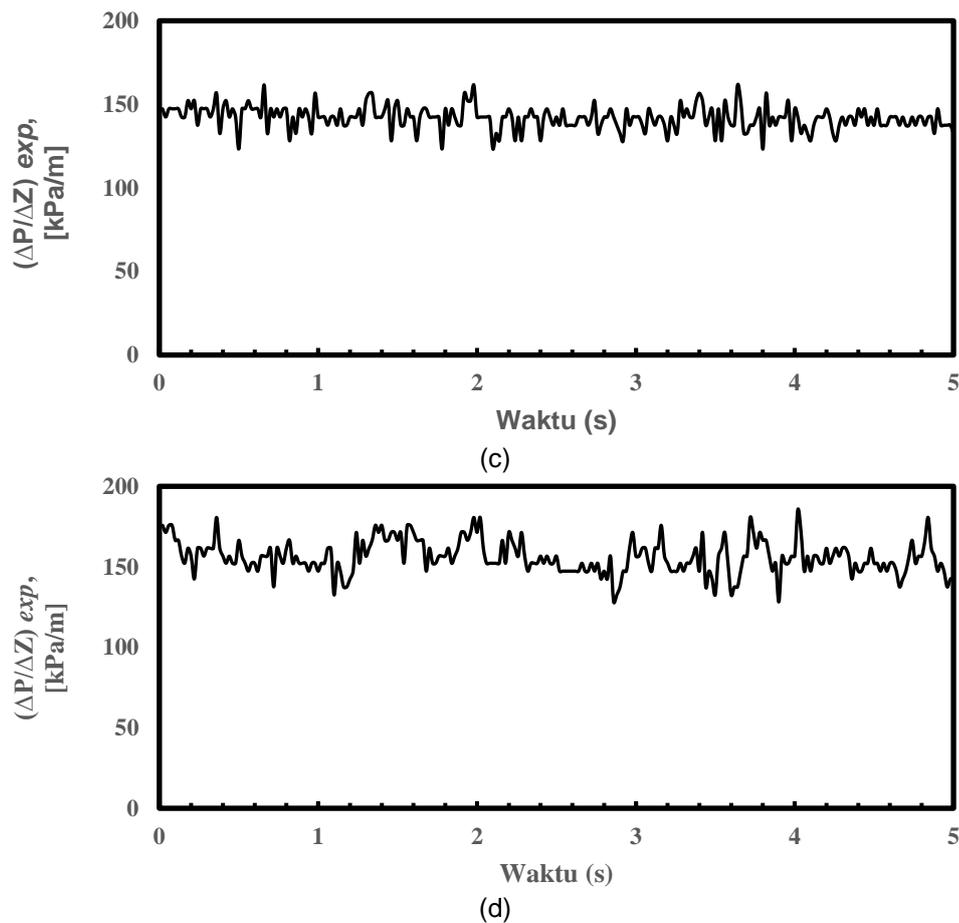


(a)



(b)

**Gambar 3.7** Time series gradien tekanan pada  $J_G = 50$  [m/s] dan  $J_L = 0,033$  [m/s] (a) GL 40% dan (b) GL 50%



**Gambar 3.8** Time series gradien tekanan pada  $JG = 50$  [m/s] dan  $JL = 0,033$  [m/s] (a) GL 60% dan (b) GL 70%

Viskositas suatu fluida sangat berpengaruh terhadap penurunan tekanan dari laju aliran fluida. Dengan demikian hal tersebut menjadi acuan dari pengujian dengan empat kali percobaan masing-masing 40, 50, 60 dan 70 % campuran gliserin terhadap air. Air yang digunakan yaitu aquades. Karena sifat dari gliserin memiliki sifat kental sehingga digunakan menjadi bahan pengental fluida untuk pengujian. Semakin besar campuran dari gliserin yang ditambahkan maka sifat fluida akan menjadi lebih kental sehingga lebih menghambat fluida untuk mengalir. Sebaliknya, jika nilai viskositas suatu fluida bersifat lebih kecil maka fluida akan lebih mudah bergerak atau mengalir. Hal demikian menyebabkan semakin kecil nilai viskositas suatu fluida maka nilai gradien tekanan akan rendah, dan semakin besar viskositasnya, besar juga nilai gradien tekannya.

Nilai gradien tekanan dapat dilihat pada gambar 4.10 (a-c) dan 4.11 (d) *time series* dengan menampilkan hasil dari nilai gradien tekanan terhadap waktu untuk mengambil data selama 5 detik. Pada gambar 4.10 (a) menampilkan grafik *time series* dengan campuran gliserin 40% menunjukkan rata-rata 18.574 [kPa/m]. Gambar 4.10 (b) menampilkan grafik *time series* dengan campuran gliserin 50% menunjukkan rata-rata 35.537 [kPa/m]. Gambar 4.10 (c) menampilkan grafik *time series* dengan campuran gliserin 60% menunjukkan rata-rata 141.899 [kPa/m]. Gambar 4.11 (d) menampilkan grafik *time series* dengan campuran gliserin 70% menunjukkan rata-rata 156.003 [kPa/m]. Dengan demikian menunjukkan bahwa nilai dari gradien tekanan pada pipa kapiler didapatkan dari tegangan setiap 5 detik dengan variasi  $JG$  dan  $JL$  pada setiap varian campuran mengalami peningkatan. Viskositas cairan yang tinggi juga kecepatan *superfisial* gas dan kecepatan *superfisial liquid* yang diberikan juga tinggi maka mempengaruhi tegangan di dalam pipa sehingga didapat nilai gradien tekanan yang lebih besar.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai gradien tekanan sangat berpengaruh terhadap kecepatan *superfisial* gas (JG) dan kecepatan *superfisial liquid* (JL). Semakin besar nilai JG maupun JL yang digunakan, maka hasil gradien tekanan menunjukkan nilai yang besar. Peningkatan gradien tekanan pada pengujian yang telah dilakukan dari tiga JL [0,149, 0,539 dan 0,7 (m/s)] dengan variasi JG [0 sampai 66,3 (m/s)] mengalami peningkatan. Demikian juga dengan Pengaruh dari JG dengan rentang [0,066; 9,62 dan 22,6 (m/s)] dengan memvariasikan JL [0,033 sampai 4,935 (m/s)].
2. Gradien tekanan pada JG = 50 (m/s) JL = 0,033 (m/s) dengan viskositas 40% menghasilkan gradien tekanan rata-rata 18.574 [kPa/m], sedangkan pada viskositas 50%, 60%, dan 70% gradien tekanan rata-rata yang dihasilkan 35.537; 141.899; dan 156.003 [kPa/m]. Dengan demikian pengujian yang dilakukan menunjukkan semakin besarnya viskositas fluida maka gradien tekanan yang dihasilkan semakin besar. Sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan dengan variasi viskositas cairan yang meningkat mengakibatkan cairan akan lebih tertahan atau tersumbat untuk bergerak, sehingga hasil menunjukkan nilai gradien tekanan juga meningkat.

#### REFERENSI

- Ali, M.I., Sadatomi, M., & Kawaji, M. (1993). Adiabatic Two-Phase Flow in Narrow Channels Between Two Flat Plates. *The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume 71*.
- Belchi, A.L., Illan-Gomes, F., Vera-Garcia, F., & Garcia-Cascales, J.R. (2014). Experimental Condensing Two-Phase Frictional Pressure Drop Inside Mini-Channels. *Comparisons and new model development*, 581-591.
- Fukano, T., & Kariyaki, A. (1993). Characteristics of Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Capillary Tube. *Nuclear Engineering and Design Vol. 141*, 59-68.
- Hassan, I., Pehlivan, K., & Vaillancouet, M. (2006). Experimental Study on Two-Phase Flow and Pressure Drop in Millimeter-size Channels. *Applied Thermal Engineering 26*, 1506-1514.
- 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 Vol. 26*. No. 14-15, 1506-1514.
- Macchi, A., Donaldson, A.A., & Kirpalani, D.M. (2011). Single and Two-Phase Pressure Drop in Serpentine Mini-Channels. *Chemical Engineering and Processing 50*, 877-884.
- Mewes, D., & Cheng, L. (2006). Review of Two-Phase Flow and Flow Boiling of Mixtures in Small and Mini Channels. *International Journal of Multiphase Flow 32*, 183-207.
- Mishima, K., & Hibiki, T. (1996). Some Characteristics of Air-Water Two-Phase Flow in Small Diameter Vertical Tubes. *International Journal of Multiphase Flow Vol. 22, No. 4*, 703-712.
- Mudawar, I., & Kim, S.M. (2013). Universal approach to predicting two-phase frictional pressure drop for mini/micro-channel saturated flow boiling. *International Journal of Heat and Mass Transfer 58*, 718-734.
- Saidi, M.H., Hanafizadeh, P., Nouri Gheimasi, A., & Ghanbarzadeh, S., (2011). Experimental Investigation of Air-Water, Two-Phase Flow Regimes in Vertical Mini Pipe. *Scientia Iranica Vol. 18 (4)*, 923-929.
- Sudarja, Aqli, H., Deendarlianto, Indarto, Andika, W. (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, Indarto, Deendarlianto, Noverdi, R., & Gutama, A. (2014). Investigasi Pola Aliran Dua-Fase Gas-Cairan di Dalam Pipa Berukuran Mini pada Aliran Horizontal. *Proceeding Nasional Symposium on Thermofluida, XIII*.
- 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 Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin, XIII*. (SNTTM XIII).
- Sukamta, Ilham, A.R., & Sudarja. (2019). The Investigation of Void Fraction of Two-Phase Flow Air-Water and Glycerine (0-30%) in The Capillary Pipe With Slope Of 50 to Horizontal Position. *Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol. 20, No. 1*.
- Triplett, K.A., Ghiaasiaan, S.M., Abdel-Khalik, S.I., & Sadowski, D.L. (1999a). Gas-liquid Two-Phase Flow in Microchannels Part I: Two-Phase Flow Patterns. *International Journal of Multiphase Flow, Vol. 25, 377-394*.