

# Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) Pola Aliran Dua-Fase Udara-Air dan Gliserin (0-30%) Pada Pipa Kapiler Horisontal

Sukamta<sup>a</sup>, Mi'raj Rizky Hidayatullah<sup>b</sup>, Sudarja<sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
 Jalan Brawijaya Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia 55183  
<sup>a</sup>[mirajrizky@yahoo.com](mailto:mirajrizky@yahoo.com), <sup>b</sup>[msukamta@gmail.com](mailto:msukamta@gmail.com), <sup>c</sup>[sudarja@umy.ac.id](mailto:sudarja@umy.ac.id)

---

## Abstract

The fluid flow is not only the single phase but often obtained also multiphase flow. One of multiphase flow is a two-phase flow. On two-phase flow potentially forming a variety of flow pattern caused a lot of things. Therefore necessary the proper calculations to avoid bad things happen. One of the method the flow is research by the computing system or commonly known as the term Computational Fluid Dynamics (CFD). CFD is very suitable for an analysis of a complex and difficult system to solve with manual calculation.

In this research to know the phenomena of flow pattern in a two-phase flow in a horizontal capillary pipe by numerical simulation using software ANSYS Fluent 19.0 academic. The simulation was carried out on the 2-dimensional horizontal capillary pipe with a diameter of 1.6 mm and a length of 100 mm. The fluid using an air-water mixture and glycerin 0%, 10%, 20%, and 30% with the variation liquid superficial velocity ( $J_L$ ) = 0.033 m/s – 4.935 m/s and gas superficial velocity ( $J_G$ ) = 9.62 m/s.

The results of the simulations showed a flow pattern that emerges from all of the variations is a slug-annular flow pattern and churn flow pattern. On the slug-annular flow pattern, viscosity effected on the abundance of liquid that clings to the walls of the pipe, the more viscous the liquid viscosity, resulting in more and more stuck in the pipe wall.

**Keywords:** Two-phase flow, CFD, ANSYS FLUENT, Slug-annular, Churn

---

## 1. PENDAHULUAN

Aliran fluida tidak hanya satu fase, sering dijumpai juga aliran *multiphase*. Salah satu aliran multiphase adalah aliran dua-fase. Pada aliran dua-fase berpotensi terbentuknya berbagai pola aliran yang disebabkan banyak hal. Oleh karena itu diperlukan perhitungan yang tepat untuk menghindari hal buruk terjadi. Menurut Triplett dkk. (1999) Pola aliran dua fase udara-air pada pipa horisontal yang sering ditemukan pola aliran *bubble*, aliran *slug-annular*, aliran *churn*, aliran *slug*, aliran *plug*, dan aliran *annular*. Salah satu metode penelitian aliran dua fase adalah dengan sistem komputasi atau yang biasa dikenali dengan istilah *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

*Computational Fluid Dynamic (CFD)* sangat cocok digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisa terhadap sebuah sistem yang rumit dan sulit dipecahkan dengan perhitungan manual dan dapat mensimulasikan laju perpindahan massa, laju perpindahan kalor, dan reaksi kimia dengan pemodelan di komputer. *CFD* akan memberikan data-data, gambar-gambar, dan kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari simulasi sistem tersebut. Dengan kelebihanannya *CFD* sering digunakan untuk melakukan analisa suatu pola dalam sebuah sistem.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sukamta. dkk (2016) melakukan simulasi *CFD* aliran *stratified* air-udara searah pada pipa horisontal. Fluida yang digunakan adalah air dan udara untuk mengetahui perubahan karakteristik aliran *stratified*. Pada penelitian tersebut digunakan pipa *acrylic* dengan diameter 19 mm dan panjang 1000 mm.

Dibandingkan dengan penelitian Sukamta, dalam penelitian ini dilakukan analisa aliran dua fase udara-air dan gliserin (0-30%) pada pipa kapiler horisontal berukuran mini menggunakan *software ANSYS Fluent 19.0 academic* untuk mengetahui pola aliran dan *pressure gradient* yang terjadi. Karena penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam dunia biomedik khususnya untuk menganalisis gangguan sistem peredaran darah. Darah manusia memiliki viskositas yang berbeda-beda oleh karena itu digunakan gliserin

untuk memvariasikan viskositas karena lebih mudah larut dalam air sehingga diharapkan viskositasnya menyerupai darah.

Fukano & Kariyasaki (1993) melakukan penelitian tentang karakteristik udara-air aliran dua fase pada pipa kapiler dengan diameter dalam 1 mm, 2.4 mm, 4.9 mm dan 9 mm. Arah aliran adalah vertikal ke atas, horizontal dan vertikal ke bawah. Hasil dari penelitian tersebut 1) gaya kapiler menjadi penting dalam kasus diameter kurang dari 5 mm – 9 mm. 2) pola aliran tidak berubah banyak sesuai arah aliran. 3) aliran terpisah tidak terlihat dalam aliran yang diuji. 4) bahkan dalam aliran horizontal pola aliran menjadi *axisymmetrical* dan ketebalan film air seragam menjadi *circumferential*. 5) gelembung kecil biasanya tidak ada dalam aliran *slug* dan cairan film. 6) kecepatan meluncur sekitar tidak terlepas dari aliran dan kecepatan gelembung mendekati dengan total *volumetric fluks*. 7) gesekan menjadi besar berkali-kali lipat dibandingkan dengan prediksi Chisholm korelasi di dalam aliran intermiten. Dalam kasus kehilangan tekanan yang disebabkan oleh gelembung panjang akibat ekspansi mendadak pada bidang aliran dari aliran cairan menjadi penting.

Santos & Kawaji (2010) melakukan penelitian tentang modeling numerik dan investigasi eksperimental *gas-liquid* pembentukan *slug* pada *T-junction microchannel* yang berdiameter hidrolis 113  $\mu\text{m}$ . Dengan kecepatan superfisial air dan udara 0.042-0.757 m/s dan 0.018-0.791 m/s. modeling menggunakan CFD dengan *software Fluent*. Dari penelitian tersebut teramati dua pola aliran : pola aliran *slug* dan pola aliran *annular*. Perbandingan numerik dengan eksperimental yaitu pola aliran *slug* teramati lebih pendek 400  $\mu\text{m}$ , perbedaan ini mungkin karena osilasi cairan yang dihasilkan dari perubahan tekanan, yang tidak tertangkap di model numerik.

Sukamta dkk. (2010) melakukan penelitian tentang identifikasi pola aliran dua fase uap-kondensat berdasarkan pengukuran beda tekanan pada pipa horizontal. Pada penelitian ini digunakan pipa annulus dari tembaga dengan diameter 17 mm dan panjang 1.6 m, sedangkan bagian luar digunakan pipa annulus dari besi berdiameter 4 inchi dan panjang 1.6 m. pipa kaca berdiameter 17 mm dengan panjang 1.2 m digunakan untuk visualisasi pola aliran. Dari penelitian tersebut teridentifikasi pola aliran yang terjadi pada aliran dua fasa air-uap air (kondensat) dari hasil kondensasi uap pada pipa horizontal ini meliputi pola aliran *stratified*, *wavy*, *plug*, *pre-slug*, *slug*.

Matsubara & Nait, (2011) meneliti tentang pengaruh dari viskositas cairan pada pola aliran *gas-liquid* aliran dua fase pada pipa horizontal. Penelitian dilakukan pada pipa horizontal *transparent* dengan diameter 20 mm dan panjang 19 m. larutan polisakarida sebagai fase cair dan udara sebagai fase gas. Variasi viskositas terendah adalah 100 mPa s dan tertinggi adalah 11.000 mPa s. Hasilnya adalah pola aliran *wavy* dan *stratified* diganti dengan aliran *annular* dan aliran *intermittent* untuk meningkatkan kecepatan cairan. Ketika cairan viskositas lebih tinggi dari 100 mPa, Matsubara tidak setuju dengan hasil percobaan Weisman et al. (1979) yang melaporkan bahwa viskositas cairan sedikit mempengaruhi pola aliran, dan model Taitel-Dukler umum digunakan untuk aliran transisi. Oleh karena itu, pendekatan lain yang berbeda harus dikembangkan untuk masalah prediksi pola aliran dalam kasus viskositas tinggi.

Irsyad (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh aliran dua fasa gas-cair terhadap fluktuasi gaya pada dinding pipa horizontal. Fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah air-udara, variasi dari aliran airnya yaitu 5, 10, 15, 20, 25, 30, dan 35 lpm, sedangkan variasi dari aliran udaranya 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 lpm. Hasil penelitian yang dilakukan yaitu gaya terbesar terjadi pada saat pola aliran gelembung (*bubble*) yaitu sebesar 0.143 N yang nilainya relatif stabil, sedangkan pada pola aliran sumbat *liquid* lebih menunjukkan gaya yang ditimbulkan lebih berfluktuasi dibanding dengan pola aliran yang lain.

Santoso dkk. (2012) meneliti tentang fluktuasi beda tekanan dari pola aliran *slug* air-udara pada aliran dua fase searah pipa horizontal dengan diameter pipa 24 mm dan panjang 10 m. Kecepatan pengambilan data adalah 400 Hz selama 50 dt dan menggunakan kamera berkecepatan tinggi untuk visualisasi pola aliran. Hasilnya karakteristik fluktuasi beda tekanan aliran *slug* dua fase udara-air sangat dipengaruhi oleh kecepatan superfisial fluida. Perubahan kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial air dapat dibedakan dengan analisis statistik, *probably density function (PDF)*, auto korelasi dan *power spectral density (PSD)*.

Wibowo dkk. (2015) melakukan eksperimen mengenai sub-sub pola aliran *stratified* pada aliran dua fase searah berdasar fluktuasi beda tekanan pada pipa horizontal. Penelitian dilakukan menggunakan pipa acrylic transparan dengan diameter dalam 26 mm dan panjang 10 m, dan digunakan kamera berkecepatan tinggi untuk visualisasi aliran. Hasilnya pola aliran yang berhasi diamati secara visual dibagi menjadi sub-sub daerah yang meliputi *stratified smooth*, *two dimensional wave*, *roll wave* dan *atomization*. Visualisasi sub-sub pola aliran *stratified* yang diamati masih cukup sulit dideteksi jika hanya menggunakan fluktuasi beda tekanan saja. Hal ini disebabkan karena sinyal beda tekanan tidak langsung menggambarkan morfologi pola aliran.

Korawan (2015) melakukan penelitian tentang pola aliran dua-fase (air+udara) pada pipa horizontal berdiameter 36 mm dengan variasi kecepatan superfisial air 0.4; 0.55; 0.7; 0.85; dan 1.0 m/s dan rasio *volumetric* 0.05. Hasil dari penelitian yang dilakukan yaitu (1) pola aliran yang teramati adalah *bubble flow*, *slug flow* dan *stratified flow*. (2) semakin besar nilai  $U_{sl}$  mengakibatkan semakin panjang *bubble region* yang terjadi. (3) semakin besar nilai  $U_{sl}$  mengakibatkan terjadinya pergeseran perubahan pola aliran, dimana pada  $U_{sl}$  rendah terjadi perubahan *bubble flow* menjadi *stratified* dan pada  $U_{sl}$  tinggi terjadi perubahan dari *bubble flow* menjadi *slug flow*.

Deendarianto dkk. (2016) melakukan studi menggunakan *CFD* pada plug aliran dua fase *gas-liquid* pada pipa horizontal menggunakan model pipa 3 dimensi dengan diameter pipa 26 mm dan panjang 1000 mm pada kondisi transient dengan model *multiphase VoF* (*Volume of Fluid*) aliran disimulasikan pada kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) = 0.12-1.88 m/s dan kecepatan superfisial air ( $J_L$ ) = 0.16-1.13 m/s pada temperatur 25° C. Hasil yang didapatkan adalah kecepatan superfisial gas secara signifikan mempengaruhi variasi waktu dari cairan yang tertahan pada aliran plug yang sangat berfluktuasi terpengaruh karena munculnya gelembung kecil dalam fase gas.

Dari uraian tinjauan pustaka diatas penelitian yang dilakukan masih banyak yang menggunakan metode eksperimental dan masih sedikit yang menggunakan metode komputasi dan masih menggunakan air-udara untuk mengetahui pola aliran yang terjadi pada sistem. Maka dari itu pada penelitian ini melakukan simulasi komputasi dinamika fluida aliran dua fase udara-air dan gliserin (0-30%) pada pipa kapiler horisontal.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Alat yang digunakan pada penelitian ini dibagi 2, *hardware* dan *software*. Bahan yang digunakan adalah geometri pipa 2 dimensi yang digambar menggunakan *software CAD*.

### 2.1 Alat

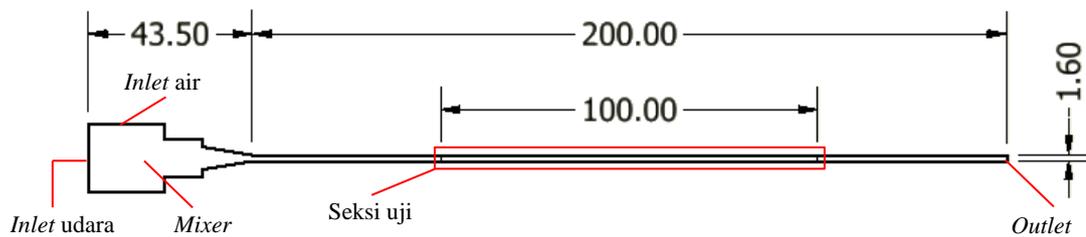
Tabel 2.1 Hardware

No	Jenis Hardware	Perangkat
1	Processor	Intel 7 <sup>th</sup> Gen Intel Core i7 (7700)
2	RAM	Samsung DDR4 16GB
3	Storage	2TB 2700RPM SATA HDD
4	Monitor	LCD Dell 24"
5	VGA	AMD Radeon R7 450 4GB

Tabel 2.2 Software

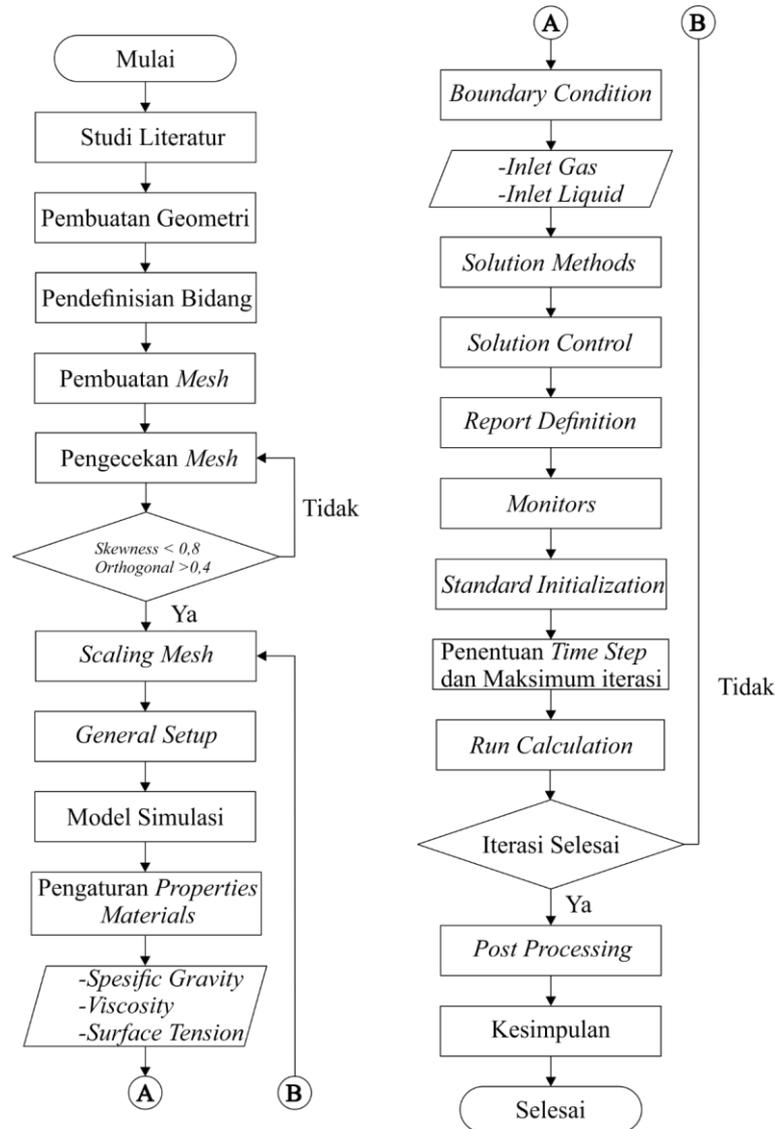
No	Tahapan	Jenis Software	Nama Software
1	Pre Processing	CAD	Autodesk Inventor 2017
		Meshing	ANSYS Fluent 19.0 academic
2	Processing	Calculating	ANSYS Fluent 19.0 academic
3	Pre Processing	Data & Visualisasi	ANSYS CFD Post 19.0 academic

## 2.2 Bahan



Pada penelitian ini untuk mengetahui fenomena pola aliran pada aliran dua-fase pada pipa kapiler horisontal dengan simulasi numerik menggunakan *software ANSYS FLUENT 19.0 academic*. Simulasi ini dilakukan pada pipa kapiler horisontal 2 dimensi dengan diameter 1.6 mm dan panjang 100 mm menggunakan jenis *mesh quadrilateral* terstruktur. fluida kerjanya menggunakan udara-campuran air dan gliserin 0%, 10%, 20% dan 30% dengan variasi kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ) = 0.033 m/s – 4.935 m/s dan kecepatan superfisial *gas* ( $J_G$ ) = 9.62 m/s.

### 2.3 Diagram Alir



Gambar 2.1 Diagram alir

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pola Aliran

Data pola aliran didapatkan dari pengolahan gambar hasil simulasi aliran dua-fase udara-air dengan campuran gliserin 0%, 10%, 20% dan 30% dengan variasi kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ) = 0.033 m/s – 4.935 m/s dan kecepatan superfisial *gas* ( $J_G$ ) = 9.62 m/s menggunakan *software ANSYS FLUENT 19.0 academic*. Pola aliran yang didapatkan pada penelitian ini adalah pola aliran *slug-annular* dan pola aliran *churn*.

Pola aliran *slug-annular* adalah pola aliran yang terbentuk dari aliran udara yang membentuk inti gas dan air yang menempel pada dinding pipa. Keduanya mengalir bersama membentuk cincin air. Pada beberapa titik, cincin air lebih tebal dari pada bagian lainnya dan membentuk leher cairan.

Pola aliran *churn* adalah pola aliran yang berbentuk tidak teratur yang disebabkan adanya gangguan pada aliran. Pola aliran *churn* alirannya cenderung acak pengaruh naiknya viskositas dan bertambahnya kecepatan superfisial *liquid* ( $J_L$ ).

Viskositas berpengaruh pada banyaknya cairan yang menempel di dinding pipa, semakin kental viskositas, semakin banyak cairan yang menempel di dinding pipa dan juga

viskositas mempengaruhi proses terbentuknya pola aliran slug-annular. viskositas juga berpengaruh pada terbentuknya pola aliran churn, semakin kental viskositas *liquid* akan sulit terdispersi sehingga batas antar fase terlihat jelas.

Pada beberapa gambar terlihat posisi fluida cair berada di atas dan fluida *gas* berada di bawah, fenomena ini yang tidak dijumpai pada pipa berdiameter besar hal ini disebabkan kecepatan yang cukup tinggi pada penampang yang kecil.

Tabel 3.1 Pola aliran yang didapat dari  $J_G = 9.62$  m/s dan berbagai variasi  $J_L$  pada aliran dua-fase udara-air (GL0)

$J_L$ (m/s)	Gambar	Pola Aliran
a. 0.033		Slug-annular
b. 0.149		Slug-annular
c. 0.232		Churn
d. 0.539		Churn
e. 0.7		Churn
f. 2.297		Churn
g. 4.935		Churn

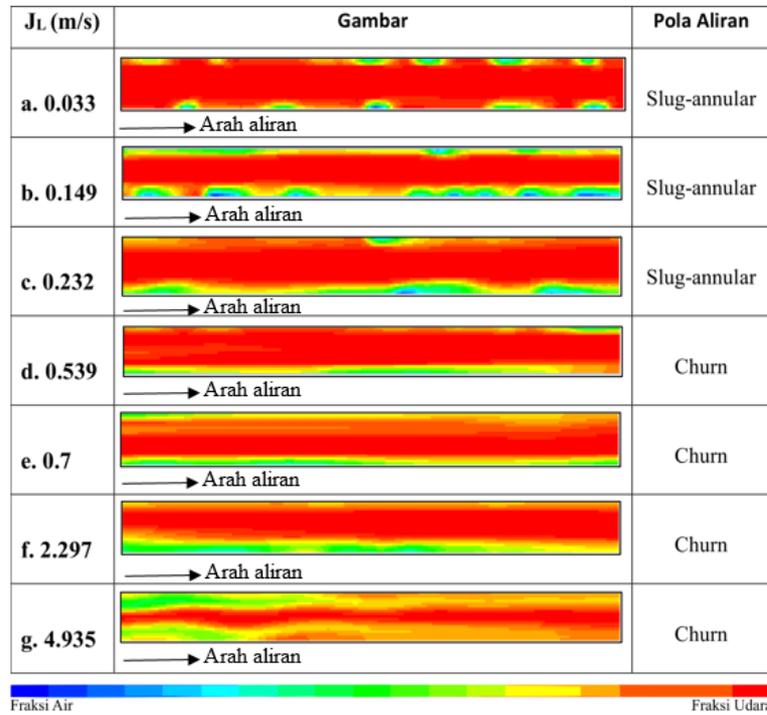
Fraksi Air  Fraksi Udara

Tabel 3.2 Pola aliran yang didapat dari  $J_G = 9.62$  m/s dan berbagai variasi  $J_L$  pada aliran dua-fase udara-air + gliserin 10% (GL10)

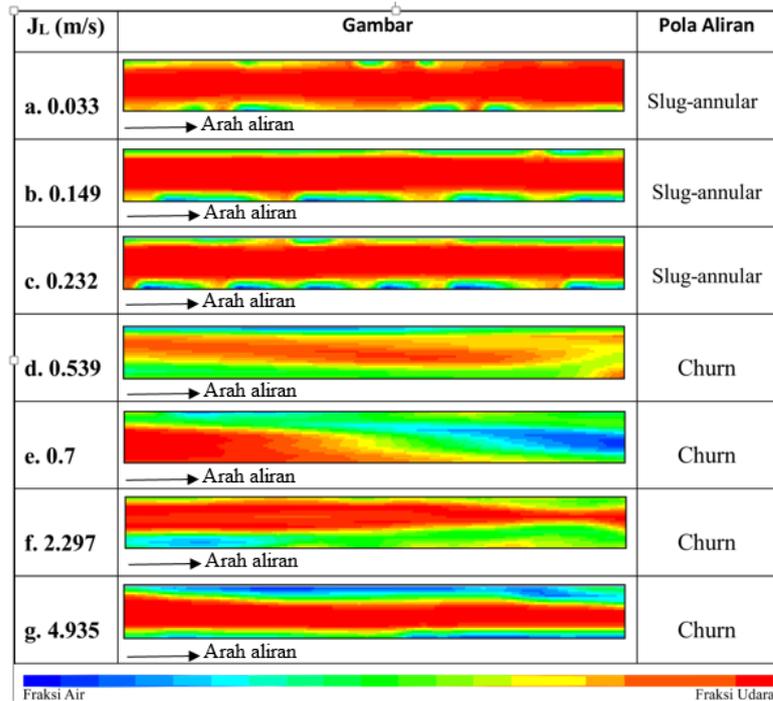
$J_L$ (m/s)	Gambar	Pola Aliran
a. 0.033		Slug-annular
b. 0.149		Slug-annular
c. 0.232		Churn
d. 0.539		Churn
e. 0.7		Churn
f. 2.297		Churn
g. 4.935		Churn

Fraksi Air  Fraksi Udara

Tabel 3.3 Pola aliran yang didapat dari  $J_G = 9.62$  m/s dan berbagai variasi  $J_L$  pada aliran dua-fase udara-air + gliserin 20% (GL20)



Tabel 3.4 Pola aliran yang didapat dari  $J_G = 9.62$  m/s dan berbagai variasi  $J_L$  pada aliran dua-fase udara-air + gliserin 30% (GL30)

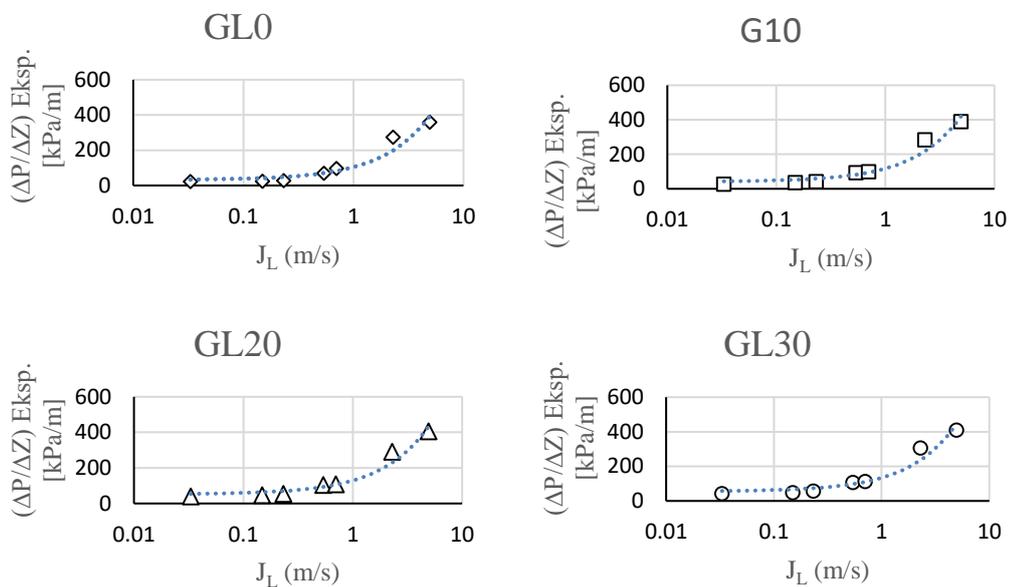


#### 4.2 Pressure Gradient

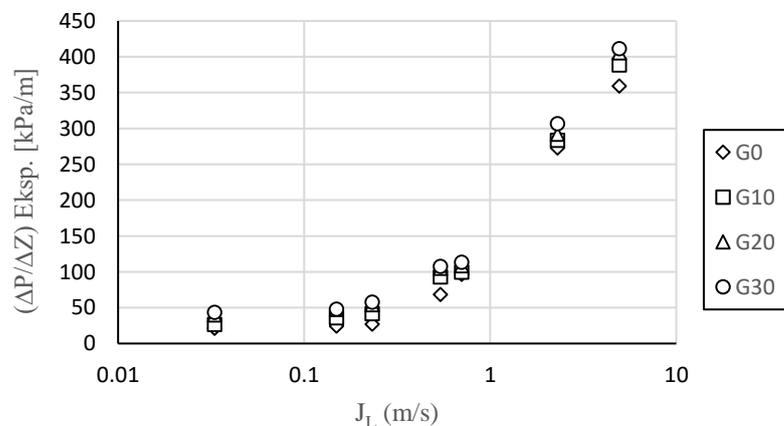
Data *pressure gradient* didapat dari simulasi aliran dua-fase udara-air dengan persentase gliserin 0%, 10%, 20%, 30% dengan menempatkan dua garis pada pipa sebagai batas seksi uji, garis tersebut digunakan sebagai sensor untuk mendapatkan data *pressure drop*, yang kemudian diolah menjadi *pressure gradient* dengan dibagi dengan panjang seksi uji diolah menggunakan Microsoft Excel kemudian dijadikan grafik agar lebih mudah untuk dibaca dan dilihat perbedaannya.

Hasil dari *pressure gradient* menunjukkan kecepatan superfisial *liquid* sangat berpengaruh pada kenaikan pada *pressure gradient*. Hal ini karena peningkatan kecepatan sehingga gesekan antar muka akan naik dan menaikkan *pressure gradient*.

Tidak hanya kecepatan superfisial *liquid* yang berpengaruh pada kenaikan *pressure gradient*, viskositas juga berpengaruh pada kenaikan *pressure gradient*, semakin kental viskositas semakin tinggi juga *pressure gradient*. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Pengaruh  $J_L$  dan viskositas terhadap *pressure gradient* aliran dua-fase udara-air + gliserin dengan berbagai persentase



Gambar 4.2 Perbandingan *pressure gradient* aliran dua-fase udara-air + gliserin dengan berbagai persentas

## 5. KESIMPULAN

Simulasi tentang pola aliran dan *pressure gradient* pada aliran dua-fase udara-air dan gliserin 0%, 10%, 20%, dan 30% pada pipa kapiler horisontal berdiameter 1.6 mm. Penelitian dilakukan pada kecepatan superfisial liquid ( $J_L$ ) = 0.033 – 4.935 m/s dan kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) = 9.62 m/s. Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian berbasis simulasi menggunakan *software ANSYS FLUENT 19.0*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pola aliran yang didapatkan dari simulasi pola aliran dua-fase pada GL0, GL10, GL20 dan GL30 adalah pola aliran *slug-annular* dan pola aliran *churn*.
2. Meningkatnya viskositas berpengaruh pada pola aliran yang terbentuk, yaitu pada pola aliran *slug-annular* dan pola aliran *churn* Semakin bertambah viskositas menyebabkan semakin banyaknya cairan yang menempel di dinding pipa akan sulit terdispersi sehingga batas antar fase terlihat jelas.
3. *Pressure gradient* yang didapatkan sangat dipengaruhi oleh viskositas cairan dan kecepatan superfisial *liquid*.

## REFERENCES

- Deendarlianto, Andrianto, M., Widyaparaga, A., Dinaryanto, O., Khasani, & Indarto. (2016). CFD Studies on the Gas-Liquid plug two-phase flow in a horizontal pipe. *Journal of Petroleum Science and Engineering*.
- Fukano, T., & Kariyasaki, A. (1993). Characteristics of Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Capillary Tube.
- Irsyad, M. (2012). Pengaruh Aliran Dua Fasa Gas-Cair Terhadap, 3(1), 205–212.
- Korawan, A. D. (2015). Pola Aliran Dua Fase (Air+Udara) Pada Pipa Horisontal Dengan Variasi Kecepatan Superfisial Air, 14(September), 57–63.
- Matsubara, H., & Naito, K. (2011). Effect of Liquid Viscosity on Flow Patterns of Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Horizontal Pipe. *International Journal of Multiphase Flow*, 37(10), 1277–1281.
- Santos, R. M., & Kawaji, M. (2010). International Journal of Multiphase Flow Numerical modeling and experimental investigation of gas – liquid slug formation in a microchannel T-junction Teflon Tubing. *International Journal of Multiphase Flow*, 36(4), 314–323.
- Santoso, B., Teknik, F., Teknik, F., Elektro, J. T., Teknik, F., Mesin, J. T., & Teknik, F. (2012). Fluktuasi Beda Tekanan Dari Pola Aliran Slug Air-Udara Pada Aliran Dua Fase Searah Pipa Horisontal, 1–6.
- Sukamta, Indarto, Purnomo, & Rohmat, T. A. (2010). Identifikasi Pola Aliran Dua Fasa Uap-Kondensat Berdasarkan Pengukuran Beda Tekanan pada Pipa Horisontal, 13(1), 83–94.
- Sukamta, Thoharudin, & Nugroho, D. M. (2016). Simulasi CFD Aliran Stratified Air-Udara Searah Pada Pipa Horisontal, 1–8.
- 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 Pattern. *International Journal of Multiphase Flow*, 377–394.
- Wibowo, R., Hudaya, A. Z., & Kabib, M. (2015). Studi Eksperimen Mengenai Sub-sub Pola Aliran Stratified Pada Aliran Dua Fasa Searah Berdasar Fluktuasi Beda Tekanan Pada Pipa Horisontal, 6(2), 385–390.