

SIMULASI CFD POLA ALIRAN DUA FASE UDARA-AIR DAN GLISERIN (40%-70%) PADA PIPA KAPILER HORIZONTAL

Sukamta^{1,a}, Sudarja^{2,b}, Gilang Gita Pranata^{3,c}

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
msukamta@gmail.com, sudarja_msn@yahoo.com, gilanggp27@gmail.com

Intisari

Aliran dua fasa digunakan di banyak industri seperti di *reactor* nuklir, *boiler*, kondensor, pencairan gas alam dan lain – lain. Aliran dua fasa adalah suatu aliran yang mengalir di dalam pipa yang memiliki dua fluida seperti padat–cair, cair–gas, gas–padat. Pada aliran dua fasa terdapat tiga saluran yaitu vertikal, horizontal, dan miring. Pada saluran horizontal pola aliran yang banyak ditemukan adalah pola aliran *stratified*, aliran *bubble*, aliran *plug*, aliran *stratified wavy*, aliran *annular* dan aliran *slug*.

Penelitian ini dilakukan untuk mencari pola aliran dan gradien tekanan dengan menggunakan software *Computational Fluid Dynamics* (CFD) Ansys Fluent 19.0 *Student*. Model yang digunakan *Volume Of Fluid* (VOF) dengan fluida kerja yang digunakan adalah udara-air dan gliserin (40%-70%). Panjang pipa 200 mm, diameter dalam 1,6 mm dan panjang seksi uji 100 mm. Kecepatan superficial air (J_L) yang digunakan adalah 0,033 m/s; 0,149 m/s; 0,232 m/s; 0,539 m/s; 0,7 m/s; 2,297 m/s dan 4,935 m/s, sedangkan kecepatan superficial udara (J_G) adalah 9,62 m/s.

Hasil dari simulasi adalah pola aliran *slug annular* dan *churn*. *Slug annular* terbentuk pada $J_L = 0,033$ m/s; 0,149 m/s dan 0,232 m/s dengan persentase gliserin 40% dan 50%, pada gliserin 60% dan 70% dengan $J_L = 0,539$ m/s terbentuk pola aliran *slug annular*. Viskositas berpengaruh pada pola aliran, semakin tinggi persentase gliserin maka viskositas akan semakin besar dan fluida akan lebih banyak dari pada udara. Semakin tinggi J_L dan persentase gliserin maka hasil gradien tekanan akan semakin besar.

Kata kunci : Aliran dua fasa, pola aliran, CFD, gradien tekanan.

1. Pendahuluan

Aliran dua fasa digunakan di banyak industri seperti di *reactor* nuklir, *boiler*, kondensor, pencairan gas alam dan lain – lain. Pada fenomena aliran fluida terdapat dua jenis aliran yaitu aliran satu fasa dan aliran dua fasa. Aliran satu fasa adalah aliran yang mengalir didalam pipa yang memiliki satu jenis fluida (gas atau cair). Aliran dua fasa adalah suatu aliran yang mengalir di dalam pipa yang memiliki dua fluida seperti padat–cair, cair–gas dan gas–padat.

Simulasi untuk menganalisa aliran tersebut adalah CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang dapat menganalisa serta menghitung kalkulasi tentang proses aliran fluida yang terjadi. Data yang di dapat akan lebih akurat dan dapat mempersingkat waktu untuk mengkalkulasi hasil analisa fluida denga menggunakan CFD, CFD tidak hanya menghasilkan data tetapi dapat menghasilkan gambar aliran yang bergerak, grafik hasil kalkulasi serta jenis-jenis simulasi seperti *velocity*, *pressure*, *mass flow* dan lain – lain. CFD memiliki banyak pilihan yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan, seperti Solid, Fluent dan lainnya. Simulasi aliran fluida dapat menggunakan Fluent karena dalam penggunaannya di khususkan untuk menganalisa suatu aliran dan dapat mensimulasikan aliran tersebut.

Penelitian tentang pola aliran pada pipa kapiler sudah pernah dilakukan oleh Sudarja, dkk (2014) melakukan penelitian tentang investigasi pola aliran dua-fase gas-cairan di dalam pipa berukuran mini pada aliran horizontal dengan ukuran diameter dalam pipa 1,6mm. Hasil dari penelitian tersebut adalah pola aliran yang didapatkan adalah *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular*, *wavy annular* dan *annular*. Pada penelitian tersebut

menggunakan metode eksperimental sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode simulasi CFD yang sebelumnya belum pernah dilakukan.

Sukamta, dkk (2017) melakukan penelitian tentang simulasi CFD aliran *annular* air-udara searah pada pipa horizontal dengan ukuran diameter dalam pipa 19 mm. Hasil dari penelitian tersebut adalah pola aliran tidak konstan tergantung dari J_G dan J_L serta waktu pengambilan data. Semakin lama waktu yang diambil maka aliran *annular* yang dihasilkan semakin sempurna. Kenaikan nilai J_G akan menyebabkan tingginya gelombang dan aliran air yang ada diatas permukaan pipa semakin sedikit. Pada penelitian tersebut menggunakan saluran konvensional dengan diameter dalam pipa lebih dari 3 mm dan menggunakan variasi $J_L = 3$ m/s, 5 m/s, 7 m/s, 8 m/s serta variasi $J_G = 25$ m/s, 27 m/s, 30 m/s, 33 m/s. Pada penelitian ini menggunakan diameter dalam 1,6 mm dan variasi $J_G = 9,62$ m/s dengan variasi $J_L = 0,033$ m/s; 0,149 m/s; 0,232 m/s; 0,539 m/s; 0,7 m/s; 2,297 m/s dan 4,935 m/s.

Penelitian simulasi CFD pola aliran dua fase udara-air dan gliserin (40%-70%) pada pipa kapiler horizontal ini menggunakan Ansys Fluent 19 *Student* dengan ukuran diameter dalam 1,6 mm dan variasi $J_G = 9,62$ m/s dengan variasi $J_L = 0,033$ m/s; 0,149 m/s; 0,232 m/s; 0,539 m/s; 0,7 m/s; 2,297 m/s dan 4,935 m/s yang sebelumnya belum pernah dilakukan. Penelitian ini menggunakan Ansys Fluent 19 *Student* karena dapat menganalisa pola aliran yang terjadi dan dapat menganalisis berbagai macam kasus aliran fluida.

Korawan (2015) melakukan penelitian tentang pola aliran dua fase (air + udara) pada pipa horizontal dengan variasi kecepatan supervisial air. Hasil dari penelitian tersebut adalah pola aliran *bubble* dan *Stratified*. Wibowo, dkk (2015) melakukan penelitian tentang studi eksperimen mengenai sub-sub pola aliran *stratified* pada aliran dua fasa searah berdasarkan fluktuasi beda tekanan pada pipa horizontal. Hasil dari penelitian tersebut adalah metode pengamatan pola aliran *stratified* yaitu dengan cara visual dan daerah yang dibagi menjadi sub-sub yaitu *stratified smooth*, *two dimensional wave*, *roll wave* dan *atomization*. Sukamta, dkk (2010) melakukan penelitian tentang identifikasi pola aliran dua fasa uap-kondensat berdasarkan pengukuran beda tekanan pada pipa horizontal. Hasil dari penelitian tersebut adalah pola aliran *stratified*, *plug*, *wavy*, *slug* dan *pre-slug*.

Gunawan, dkk (2015) melakukan penelitian tentang studi eksperimen mengenai fluktuasi tekanan dan tegangan geser antarmuka pada aliran *stratified* air udara pada pipa horizontal. Hasil dari penelitian tersebut adalah terjadi pola aliran *stratified smooth*. *Pressure gradient* akan semakin besar jika J_G dan J_L semakin besar. Sudarja, dkk (2016) melakukan penelitian tentang karakteristik gradien tekanan pada aliran dua-fase udara-campuran air dan 20% gliserin dalam pipa horizontal berukuran mini. Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin bertambahnya kecepatan superfisial gas maupun kecepatan superfisial cairan maka gradien tekanan semakin besar. Khaledi, dkk (2014) melakukan penelitian tentang investigasi pola aliran dua fase, penahanan cairan dan penurunan tekanan dalam aliran minyak-gas yang kental. Hasil dari penelitian tersebut adalah pola aliran yang didapatkan yaitu *stratified*, *stratified wavy*, *bubbly flow*, *plug flow*, *roll-wave* dan *slug flow*.

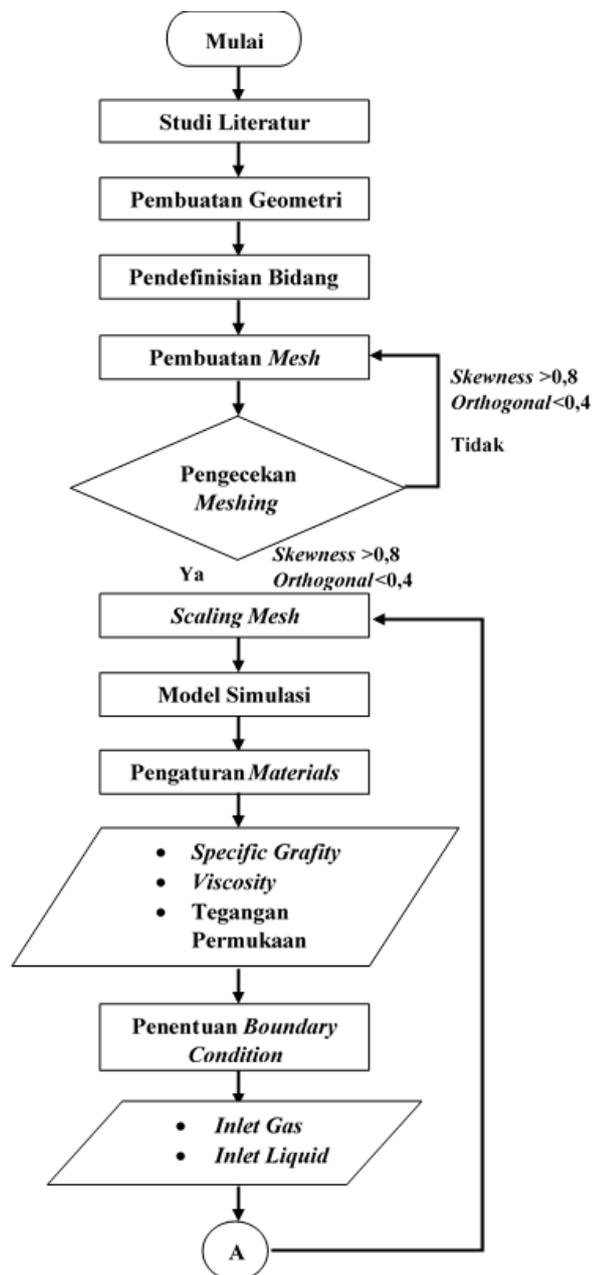
Tsaoulidis, dkk (2013) melakukan penelitian tentang pola aliran dan penurunan tekanan cairan *ionic* dua-fase cairan-air di *microchannels*. Hasil dari penelitian tersebut adalah pola aliran yang didapat yaitu *plug flow*, *disturbed plug*, *plug & drop train flow*, *intermittent flow*, *dispersed flow*, *quasi annular flow*, *throat annular flow*, *rivulet annular flow*, *drop flow* dan *irregular flow*. Chinnoy, dkk (2015) melakukan penelitian tentang pola alir dua fasa pada *short horizontal rectangular microchannels*. Hasil dari penelitian tersebut adalah pola aliran yang didapat yaitu *bubble*, *annular*, *jet*, *stratified* dan *churn regimes*. Sudarja, dkk (2015) melakukan penelitian tentang studi ekperimental mengenai pola aliran dan fraksi hampa pada aliran gas – cairan dalam pipa berukuran mini. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah pola aliran yang terdeteksi yaitu *bubbly*, *slug*, *slug – annular*, *churn* dan *annular*.

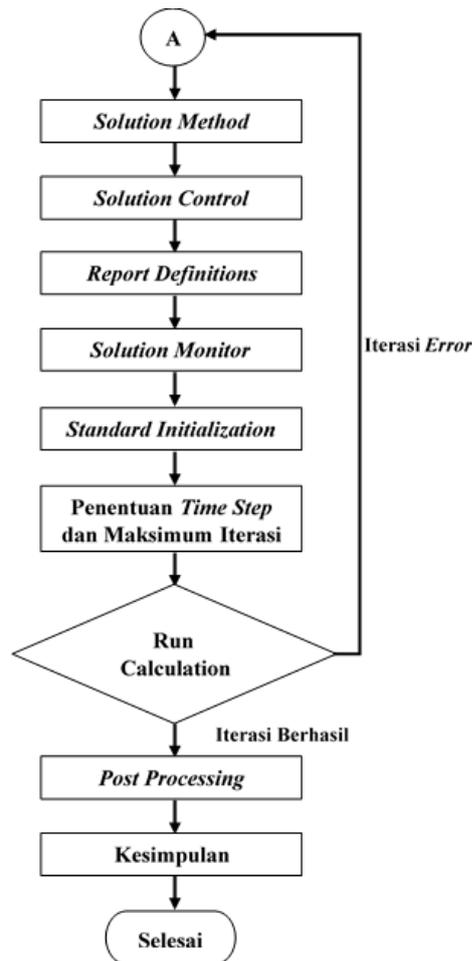
Saisorn dan wongwises (2008) melakukan penelitian pola aliran, fraksi hampa dan penurunan tekanan dua fase aliran udara-air pada saluran mikro melingkar horizontal. Hasil dari penelitian tersebut adalah pola aliran yang didapatkan yaitu *slug flow*, *throat-annular flow*, *churn flow* and *annular-rivulet flow*. Sukamta, dkk (2017) melakukan penelitian tentang simulasi CFD aliran *bubble* air – udara searah pada pipa horizontal. Hasil dari penelitian tersebut adalah pengaruh variasi J_L terhadap J_G menghasilkan

kecepatan laju aliran bertambah, semakin besar nilai J_G semakin bertambah pula ukuran gelembung didalam aliran. Semakin rendah J_G dan J_L maka gelembung yang di dihasilkan akan semakin kecil dan banyak. Semakin besar J_G maka gelembung yang dihasilkan akan semakin besar dan memanjang.

Dari hasil penelitian diatas pola aliran yang banyak terjadi pada aliran dua fasa adalah stratified, plug, slug, annular dan bulble. Penelitian yang akan dilakukan memiliki variabel yang sama seperti penelitian sebelumnya oleh Sudarja, dkk (2016). Sudarja dalam penelitiannya melakukan penelitian tentang karakteristik gradien tekanan pada aliran dua fasa udara–campuran air dan 20% gliserin dalam pipa horizontal berukuran mini, metode yang digunakan adalah eksperimental. Pada penelitian ini akan di lakukan penelitian tentang gradien tekanan dan pola aliran pada aliran dua fasa udara-air dan gliserin (40%-70%) pada pipa kapiler horizontal dengan metode simulasi CFD menggunakan *Volume Of Fluid* (VOF).

2. Metode Penelitian





Gambar 1. Diagram alir simulasi CFD dengan menggunakan Ansys Fluent 19.0 Student

Terdapat 3 proses dalam simulasi CFD yaitu *pre-processing*, *processing* dan *post processing*

Pre-processing adalah tahapan pertama yang dilakukan pada analisis penelitian menggunakan simulasi CFD. Pada tahap *pre-processing*, akan dilakukan pembentukan geometri atau domain komputasi berupa Gambar *Computer Aided Design* (CAD) dalam bentuk 2 dimensi atau 3 dimensi. Pembuatan geometri dapat dilakukan pada software CFD itu sendiri atau menggunakan software Gambar CAD khusus seperti *Inventor* dan *Solidworks* untuk pembentukan geometri yang rumit.

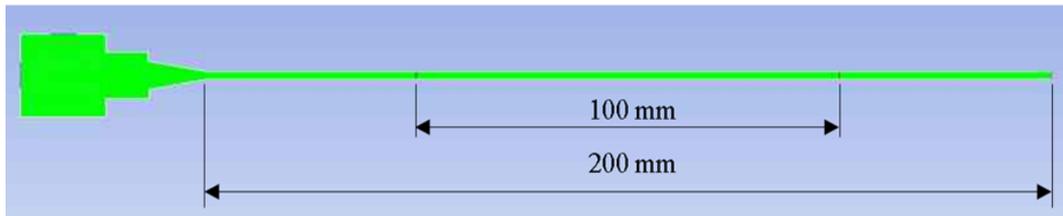
Tahap *processing* merupakan tahap perhitungan sebuah simulasi. Pada tahap ini parameter yang telah diberikan pada tahap *pre-processing* akan dikalkulasi secara berulang atau disebut dengan iterasi. Perhitungan akan selesai apabila hasil perhitungan telah mencapai tingkat ketelitian yang telah ditentukan ataupun telah mencapai batas jumlah iterasi yang telah ditentukan.

Post-processing merupakan tahap akhir dari simulasi. Pada tahap ini akan dilakukan pengambilan dan pengolahan data berupa nilai untuk variabel-variabel tertentu, grafik serta visualisasi dalam bentuk kontur dan animasi. Sama halnya pada tahap pembuatan mesh, tahap *post-processing* dapat dilakukan pada software CFD itu sendiri ataupun menggunakan software lain khusus *post processing*.

2.1 Geometri dan *mesh*

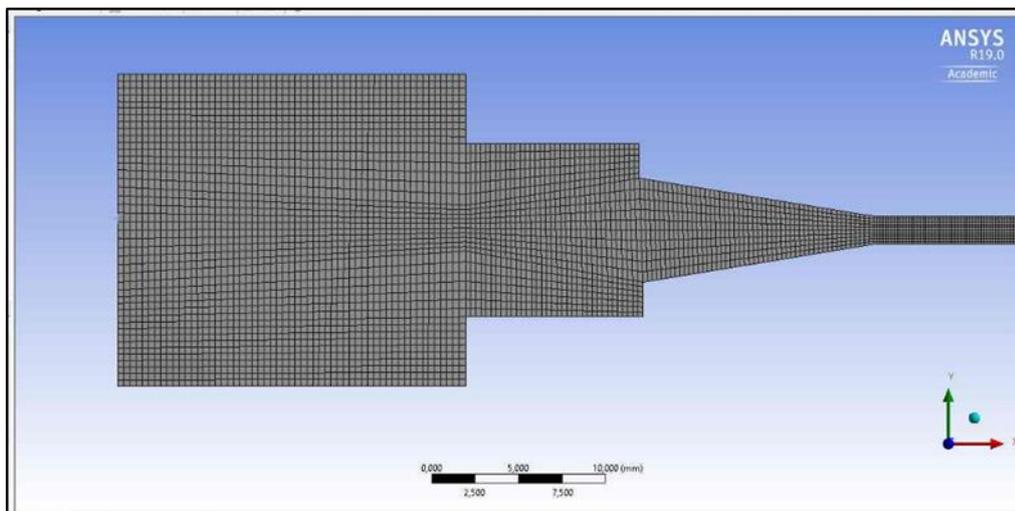
Membuat geometri 2D atau 3D untuk simulasi CFD dapat menggunakan beberapa software seperti *Fluent*, *Inventor*, *Autocad*, *Solidwork*, dan dll. Setelah membuat geometri

maka file di import ke format yang sama dengan Ansys Fluent. Geometri yang digunakan dalam penelitian ini adalah gambar 2D, diameter pipa dalam 1,6 mm, panjang pipa 200 mm, dan panjang seksi uji 100 mm dengan total data yang diambil 0,2 detik.



Gambar 2. Geometri

Setelah membuat geometri, selanjutnya perlu dilakukan proses *meshing* (membagi volume menjadi bagian-bagian kecil) supaya dapat dianalisis pada program CFD. Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu obyek akan mempengaruhi ketelitian dan daya komputasi analisis CFD. Semakin kecil atau halus *mesh* yang dibuat, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, namun dibutuhkan daya komputasi yang makin besar pula. Setelah proses pembuatan *meshing* selesai, kemudian dilakukan pengecekan kualitas *mesh* dengan *report quality*.

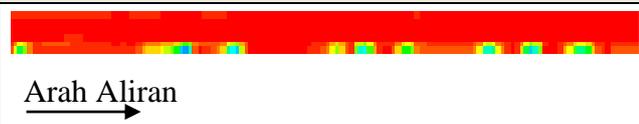


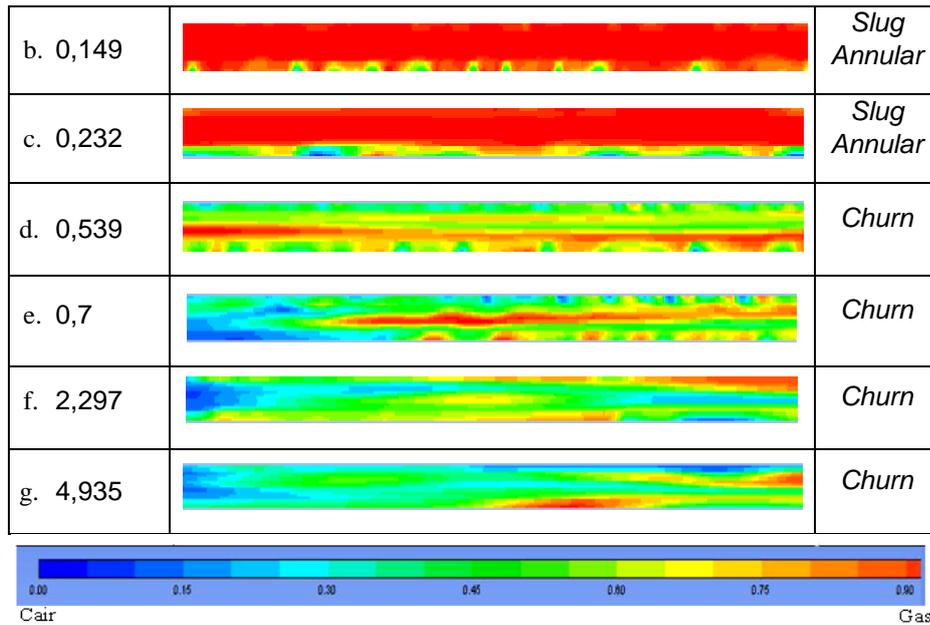
Gambar 3. Hasil *mesh*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pola aliran udara air+gliserin 40 % dengan kecepatan superfisial udara (J_G) 9,62 m/s dan kecepatan superfisial air (J_L) bervariasi

Tabel 1. Pola aliran udara air+gliserin 40 % dengan $J_G = 9,62$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s; 0,149 m/s; 0,232 m/s; 0,539 m/s; 0,7 m/s; 2,297 m/s dan 4,935 m/s.

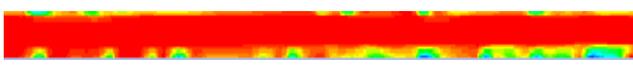
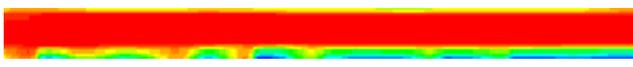
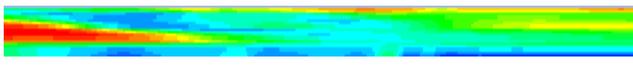
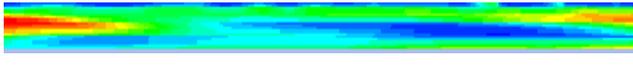
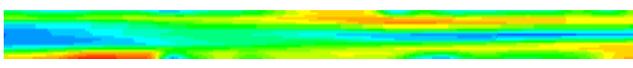
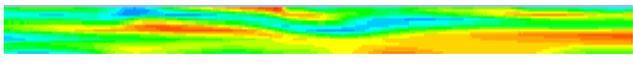
J_L (m/s)	Gambar	Pola Aliran
a. 0,033		Slug Annular



Tabel 4.1 pada variasi $J_L=0,033$ m/s menunjukkan pola aliran slug annular yang di tunjukkan dengan adanya fluida yang menempel pada dasar pipa. Hal ini dapat terjadi karena kecepatan superfisial air kecil sehingga cairan lebih sedikit dari pada udara. Cairan menempel di dasar pipa karena pengaruh gravitasi dan masa jenis cairan yang lebih berat dari pada udara sehingga cairan berada di dasar pipa.

3.2 Pola aliran udara air+gliserin 50 % dengan kecepatan superfisial udara (J_G) 9,62 m/s dan kecepatan superfisial air (J_L) bervariasi

Tabel 2. Pola aliran udara air+gliserin 50 % dengan $J_G = 9,62$ m/s dan $J_L=0,033$ m/s; 0,149 m/s; 0,232 m/s; 0,539 m/s; 0,7 m/s; 2,297 m/s dan 4,935 m/s.

J_L (m/s)	Gambar	Pola Aliran
a. 0,033		Slug Annular
b. 0,149		Slug Annular
c. 0,232		Slug Annular
d. 0,539		Churn
e. 0,7		Churn
f. 2,297		Churn
g. 4,935		Churn



Tabel 4.2 menunjukkan pola aliran *slug annular* pada $J_L=0,033$ m/s; 0,149 m/s dan 0,232 m/s. Pada Tabel 4.2 dengan $J_L=0,033$ m/s terlihat bahwa pola aliran *slug annular* yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan $J_L=0,149$ m/s dan 0,232 m/s. Hal ini terjadi karena laju kecepatan superfisial air (J_L) lebih lambat, sehingga pola aliran *slug annular* yang terbentuk lebih sedikit. Untuk $J_L= 0,539$ m/s; 0,7 m/s; 2,297 m/s dan 4,935 m/s menunjukkan pola aliran *churn*, karena adanya gangguan pada aliran berupa udara sehingga pola aliran yang terbentuk acak. Pada $J_L= 4,935$ m/s terlihat bahwa pola aliran *churn* lebih didominasi dengan warna biru dan hijau.

3.3 Pola aliran udara air+gliserin 60 % dengan kecepatan superfisial udara (J_G) 9,62 m/s dan kecepatan superfisial air (J_L) bervariasi

Tabel 3 Pola aliran udara air+gliserin 60 % dengan $J_G = 9,62$ m/s dan $J_L=0,033$ m/s; 0,149 m/s; 0,232 m/s; 0,539 m/s; 0,7 m/s; 2,297 m/s dan 4,935 m/s.

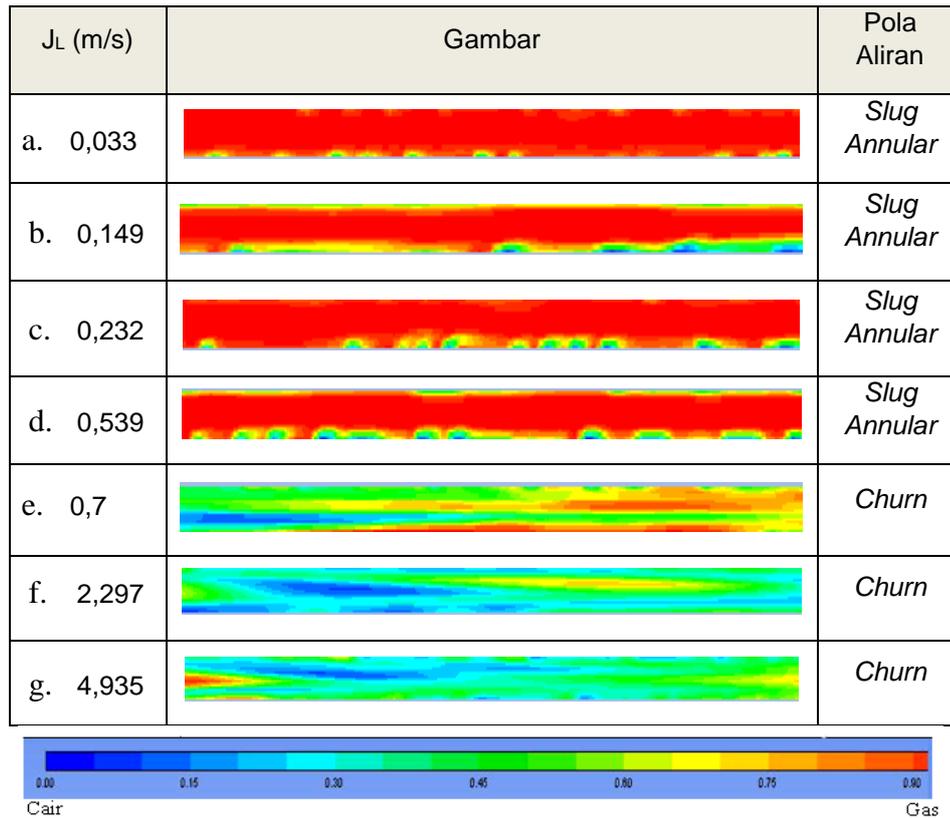
J_L (m/s)	Gambar	Pola Aliran
a. 0,033		Slug Annular
b. 0,149		Slug Annular
c. 0,232		Slug Annular
d. 0,539		Slug Annular
e. 0,7		Churn
f. 2,297		Churn
g. 4,935		Churn



Pola aliran *slug annular* terjadi pada $J_L = 0,033$ m/s; 0,149 m/s; 0,232 m/s dan 0,539 m/s. Pola aliran *slug annular* masih terjadi pada $J_L= 0,539$ m/s. Hal ini dapat terjadi karena persentase gliserin berbeda. Persentase gliserin berpengaruh pada viskositas dan kecepatan superfisial air (J_L). Semakin tinggi persentase gliserin menyebabkan viskositas fluida bertambah besar, sehingga kecepatan superfisial udara (J_G) sulit menembus fluida. Hal ini menyebabkan pola aliran yang terjadi lebih didominasi aliran fluida.

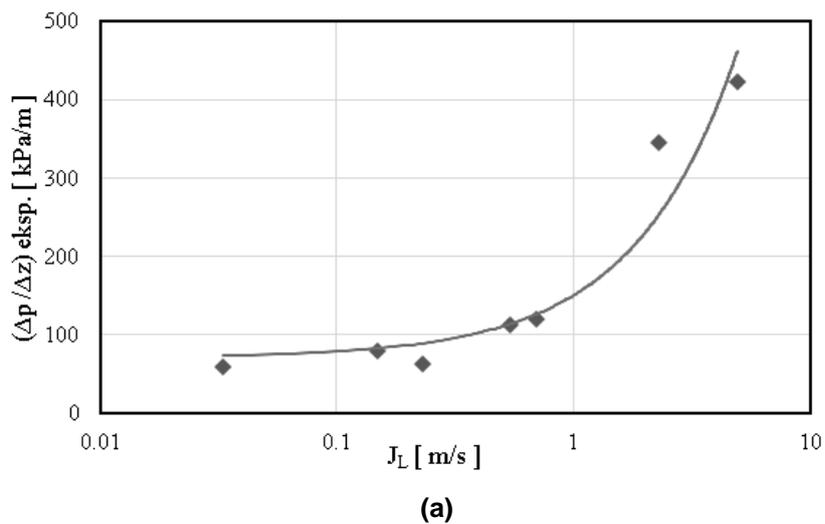
3.4 Pola aliran udara air+gliserin 70 % dengan kecepatan superfisial udara (J_G) 9,62 m/s dan kecepatan superfisial air (J_L) bervariasi

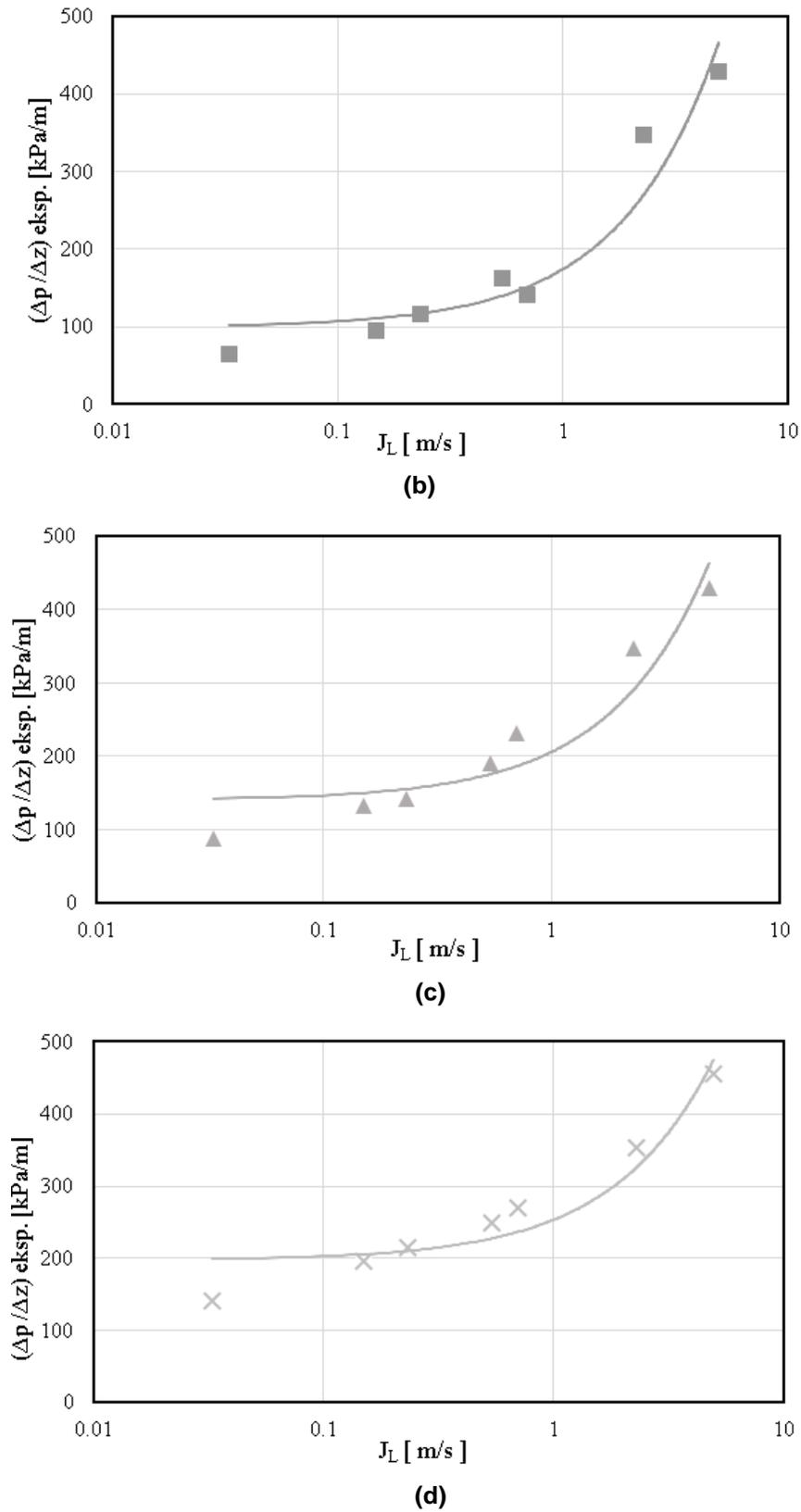
Tabel 4 Pola aliran udara air+gliserin 70 % dengan $J_G = 9,62$ m/s dan $J_L=0,033$ m/s; 0,149 m/s; 0,232 m/s; 0,539 m/s; 0,7 m/s; 2,297 m/s dan 4,935 m/s.



Pola aliran slug annular banyak terjadi pada persentase gliserin 70% dari pada 60%. Hal ini disebabkan karena pengaruh viskositas pada gliserin 70% lebih besar sehingga cairan lebih kental dan sulit di lalui oleh udara serta masa jenis pada gliserin 70% lebih besar sehingga pola aliran slug annular yang terjadi lebih banyak.

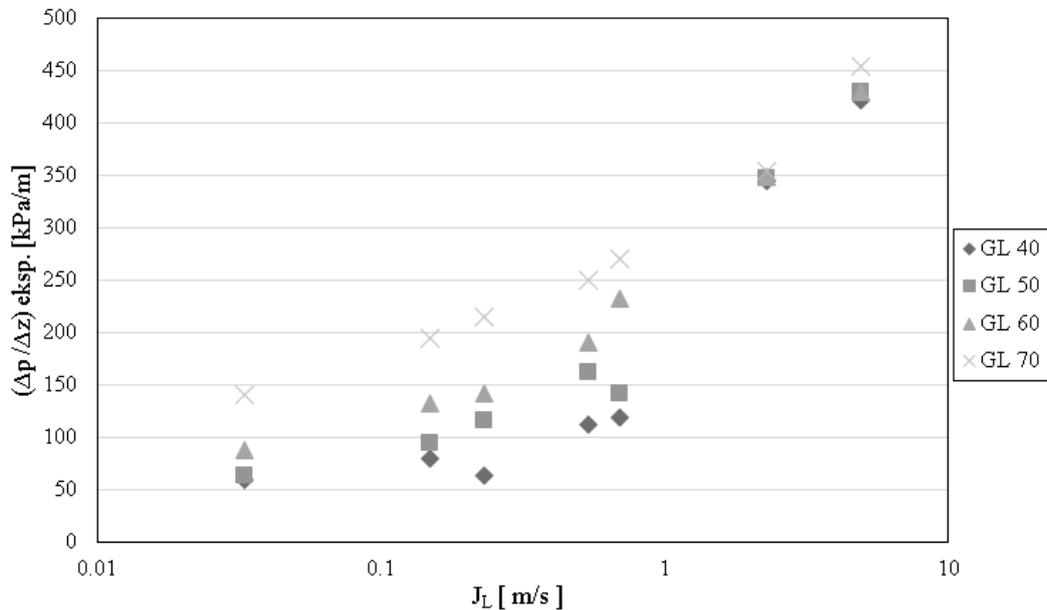
3.5 Hubungan antara kecepatan superfisial air (J_L) bervariasi dengan pressure gradien pada J_G = 9,62 m/s dengan persentase gliserin 40%, 50%, 60% dan 70%





Gambar 4. Grafik hubungan antara kecepatan superfisial air (J_L) bervariasi dengan pressure gradien pada $J_G = 9,62$ m/s dengan persentase gliserin (a) 40%, (b) 50%, (c) 60% dan (d) 70%

3.6 Hubungan antara kecepatan superfisial air (J_L) bervariasi dengan pressure gradien pada $J_G = 9,62$ m/s dengan persentase gliserin 40%, 50%, 60% dan 70%



Gambar 5. Grafik hubungan antara kecepatan superfisial air (J_L) bervariasi dengan pressure gradien pada $J_G = 9,62$ m/s dengan persentase gliserin 40%, 50%, 60% dan 70%

Gambar 5 menunjukkan peningkatan pada setiap persentase gliserin. Hal ini disebabkan karena persentase gliserin yang meningkat, sehingga mempengaruhi viskositas fluida dan gradien tekanan. Meningkatnya viskositas fluida menyebabkan gradien tekanan yang semakin besar, sehingga grafik meningkat pada setiap persentase gliserin. Pada Gambar 5 terlihat bahwa semakin besar J_L maka gradien tekanan semakin besar.

4. Kesimpulan

1. Pola aliran *churn* terbentuk pada $J_L=0,539$ m/s; 0,7 m/s dan 2,297 m/s; 4,935 m/s dengan persentase gliserin 40% dan 50%, pada gliserin 60% dan 70% terbentuk pola aliran *churn* pada $J_L=0,7$ m/s; 2,297 m/s; 4,935 m/s. *Slug annular* terbentuk pada $J_L=0,033$ m/s; 0,149 m/s dan 0,232 m/s dengan persentase gliserin 40% dan 50%, tetapi pada gliserin 60% dan 70% dengan $J_L= 0,539$ m/s masih terbentuk pola aliran *slug annular*. Hal ini dikarenakan pengaruh viskositas pada gliserin yang semakin besar sehingga udara sulit menembus fluida karena tingkat viskositas yang tinggi.
2. Viskositas berpengaruh pada pola aliran, semakin tinggi persentase gliserin maka viskositas akan semakin besar sehingga gradien tekanan akan semakin meningkat. Meningkatnya gradien tekanan berpengaruh pada banyaknya persentase cairan pada pola aliran yang terjadi.
3. Semakin tinggi J_L dan persentase gliserin maka hasil gradien tekanan akan semakin besar.

Daftar Pustaka

- Chinnov, E. A., Ron'shin, F. V., & Kabov, O. A. (2015). Two-Phase Flow Patterns In Short Horizontal Rectangular Microchannels. *International Journal Of Multiphase Flow*.
- Gunawan, D., Hudaya, A. Z., & Indarto. (2015). Studi Eksperimen Mengenai Fluktuasi Tekanan dan Tegangan Geser Antarmuka Pada Aliran Stratified Air Udara Pada Pipa Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada*, 32-40.
- 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*, 37-51.
- Korawan, & Dwi, A. (2015). Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Pada Pipa Horizontal Dengan Variasi Kecepatan Supervisial Air. *Jurnal Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Renggolawe*, 57-63.
- Saisorn, S., & Wongwises, S. (2008). Flow Pattern, Void Fraction And Pressure Drop Of Two-Phase Air-Water Flow In A Horizontal Circular Microchannel. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 748-760.
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, & Gutama, A. (2015). Studi Eksperimental Mengenai Pola Aliran Dan Fraksi Hampa Pada Aliran Gas-Cairan Dalam Pipa Berukuran Mini. *Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 21, Universitas Gadjah Mada*, 57-62.
- Sudarja, Indarto, Deendarlianto, Noverdi, R., & Gutama, A. (2014). Investigasi Pola Aliran Dua-Fase Gas-Cairan Di Dalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horizontal. *Seminar Nasional Teknik Mesin XIII (Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada)*, 423-429.
- 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 (Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada)*.
- Sukamta, Indarto, Purnomo, & Rohmat, T. A. (2010). Identifikasi Pola Aliran Dua Fasa Uap-Kondensat Berdasarkan Pengukuran Beda Tekanan Pada Pipa Horizontal. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 83-94.
- Sukamta, Thoharuddin, & Mubarraqah, A. V. (2017). Simulasi CFD Aliran Annular Air-Udara Searah Pada Pipa Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*, 1-7.
- Sukamta, Thoharudin, & Irawan, R. M. (2017). Simulasi CFD Aliran Bubble Air-Udara Searah Pada Pipa Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*, 1-7.
- Tsaoulidis, D., Dore, V., Angeli, P., Plechkova, N. V., & Seddon, K. R. (2013). Flow Patterns and Pressure Drop Of Ionic Liquid-Water Two-Phase Flow In Microchannels. *International Journal Of Multiphase Flow*, 1-10.
- Wibowo, R., Hudaya, A. Z., & Kabib, M. (2015). Studi Eksperimen Mengenai Sub-Sub Pola Aliran Strarified Pada Aliran Dua Fasa Searah Berdasarkan Fluktuasi Beda Tekanan Pada Pipa Horizontal. *Jurnal Simetris, Universitas Muria Kudus*, 385-380.