

**INVESTIGASI POLA ALIRAN DUA FASE UDARA AIR DAN GLISERIN (0-30%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 45° TERHADAP POSISI HORIZONTAL**

**Windy Prasetyo<sup>1,a</sup>, Sukamta<sup>2,b</sup>, Sudarja<sup>3,c</sup>**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

[1 tio.prasetyo962@gmail.com](mailto:1tio.prasetyo962@gmail.com), [2msukamta@gmail.com](mailto:2msukamta@gmail.com), [3sudarja\\_msn@yahoo.com](mailto:3sudarja_msn@yahoo.com)

**Abstract**

Two-phase flow is one of a very simple form in multiphase flow. Two-phase flow is often used in tool heat exchangers, piping systems of petroleum industry geothermal, nuclear reactor, and a working system of blood vessels in humans. This research was conducted to find out the effect on the superficial gas velocity, superficial velocity of fluids and viscosity against the characteristics that occur in the flow pattern, the spread map flow pattern which is then used to compare with previous research.

This research was conducted at 1.6 mm diameter pipe that was installed with a slope angle of 45 ° against the horizontal position. Research material used is a mixture of air-water and Glycerin with variation concentration (0%, 10%, 20%, 30%). The use of an air-fluid water and Glycerin because of easy this fluid late and also due to the fluid viscosity on resembling human blood. Tools used in this research are glass pipes, mixers, compressors, air, and liquid flowmeter, pressure vessels, water pumps, sump, sexy lighting, lamp test, camera. With superficial air velocity or  $J_G$  0.025 m/s – 66.3 m/s and at superficial velocity of fluids or  $J_L$  0.033 m/s-4,935 m/s. The fluid liquid that has been mixed and then pumped the vessel toward the press and streamed past the water flowmeter with  $J_L$  that already specified. Fluid gases coming from the compressor and streamed to the gas flowmeter with  $J_G$  an already defined. Both the fluid will be mixed in the mixer which would then flow into the test section and taken pictures of the flow pattern that is set up in the form of a video for 3 seconds.

Based on the results of the research that has been done there are five flow pattern derived, including plug, bubbly, slug annular, annular, churn. From the results, the obtained pattern looks that flow pattern plug and churn dominated on a map the flow pattern. The emergence pattern of the plug for any variation of the concentration of glycerol was first seen on  $J_G$  coordinates 0.025 m/s and  $J_L$  0.033 m/s. While the bubbly pattern in  $J_G$  0.025 m/s and  $J_L$  2.297 m/s. On the flow pattern of the annular slug first seen  $J_G$  3 m/s and  $J_L$  0.033 m/s. later in annular flow pattern seen on  $J_G$  50 m/s and  $J_L$  0.033 m/s to 0% glycerine and concentration of 10% glycerol at concentrations of 20% and 30% are seen on  $J_G$  22.6 m/s and  $J_L$  0.033 m/s. churn flow pattern seen on  $J_G$  3 m/s and  $J_L$  2.297 m/ s for the concentration of glycerol 0% and 10% whereas 20% glycerol at concentrations at coordinates  $J_G$  1.941 m/s and and  $J_L$  4.935 m/s then 30% in  $J_G$  coordinates 1.941 m/s and  $J_L$  2.297 m/s. viscosity Influence on bubbly flow patterns visible in the concentration of Glycerin 0% emergence patterns dominates until bubbly  $J_G$  1.941 m/s and  $J_L$  4.935 m/s. and an annular flow pattern in concentrations of Glycerin 20% and 30% appears on  $J_G$  22.6 m/s and  $J_L$  0.033 m/s. a shape of plug flow pattern is becoming increasingly short along with the influence of the viscosity. Where as, in the form of bubbly flow patterns being formed almost perfectly round. The results of the comparison of the flow pattern map with previous studies showed results not much different.

**Keywords:** two-phase, flow pattern, fluid, the viscosity, flow pattern maps, superficial speed

## 1. Pendahuluan

Pada kehidupan sehari-hari dan juga pada proses yang berada di industri, aliran dua fase sering dijumpai seperti yang terdapat pada alat penukar panas, sistem perpipaan dari industri perminyakan geothermal, reaktor nuklir, dan sistem kerja dari pembuluh darah. Aliran dua fase ini sendiri merupakan salah satu bentuk yang sangat sederhana dalam aliran multifase. Pengertian dari fase (*phase*) adalah bentuk ataupun wujud dari sebuah kondisi zat yang berupa cair atau gas. Cara mengenali aliran ini sendiri biasanya memakai dua buah komponen yang berbeda, seperti pada aliran yang memakai air-udara atau pada aliran uap-air. Pada aliran multi fase (*multiphase flow*) merupakan aliran yang simultan dari beberapa fase. Sedangkan untuk aliran dua fase (*two-phase flow*) adalah salah satu fenomena paling sederhana jika dibandingkan dengan aliran pada multi fase. Aliran dua fase sendiri terjadi pada saluran, yang diantaranya adalah : berukuran besar (*large channel*), mikro (*micro channel*), mini (*mini channel*) dan pada saluran nano (*nano channel*).

Penelitian tentang aliran dua fase telah dilakukan sebelumnya, namun pada penelitian aliran dua fase dengan menggunakan pipa mini (*minichannel*) dan juga pada pipa dengan saluran mikro (*microchannel*) tidak begitu banyak yang melakukan penelitian. Adapun beberapa peneliti yang telah melakukannya, yaitu Triplet dkk, (1999), Serizawa, (2002), Kawahara, (2002), Chung dan Kawaji, (2004), dan Sudarja, (2014).

Oleh sebab itu, penelitian tentang parameter dasar aliran dua fase pada pipa berukuran mini menjadi sangat penting agar bisa mendapatkan informasi dan *data base* yang bermanfaat terhadap pembuatan sebuah desain peralatan yang melibatkan aliran dua fase. Pada penelitian ini, investigasi pola aliran dua fase udara-air dan gliserin pada pipa kapiler dengan kemiringan  $45^\circ$  terhadap posisi horisontal belum dilakukan selama ini, oleh karena itu penelitian ini menjadi sangat menarik untuk dilakukan. Jika pada penelitian terdahulu fluida cair yang digunakan pada umumnya air suling, maka pada penelitian ini mempergunakan fluida berupa udara-air dan gliserin bertujuan untuk menyerupai kekentalan pada aliran darah sehingga dapat dikembangkan pada ilmu kesehatan (*biomedik*) dan perbandingan pengaruh viskositas. Kemiringan pada meja penelitian dikarenakan belum adanya penelitian dengan menggunakan kemiringan  $45^\circ$  sehingga pada penelitian ini jauh lebih menarik dilakukan, sebab pada penelitian yang sebelumnya menyatakan pengaruh gaya gravitasi tidak berpengaruh pada aliran.

## 2. Kajian Pustaka

Triplet, (1999) . Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki eksperimental sistematis pada pola dua fase di *microchannel*. Dengan menggunakan udara dan air, percobaan dilakukan pada pipa *microchannel* dengan diameter 1,1 dan 1,45 mm, dengan *cross-section* semi segitiga (segitiga dengan satu sudut smoothed) dengan diameter hidrolis 1,09 dan 1,49 mm. Jarak superficial gas dan cairan adalah  $0,02 \pm 80$  dan  $0,02 \pm 8$  m / s. Pola yang terlihat adalah *bubbly*, *churn*, *slug*, *slug annular*, dan *annular*.

Serizawa, (2001). Pola aliran dua fase gas – cair divisualisasikan dengan mikroskop untuk aliran gas-cair dalam tabung sirkular 20,25 dan 100 mm dan untuk aliran uap air dalam 50 mm tabung melingkar. Kecepatan superficial mencakup berbagai  $JL = 0,003-17,52$  m/s dan  $JG = 0,0012-295,3$  m/s untuk aliran gas- cair. Beberapa pola aliran yang berbeda yaitu, aliran gelembung, aliran slug, aliran cincin cairan, aliran annular, aliran berbusa atau aliran *annular* jenuh, aliran *rivulet*.

Kawahara, (2002). Investigasi eksperimental telah dilakukan pada karakteristik aliran dua fase dalam tabung bulat berdiameter 100 mm . Pola aliran dua fase

ditentukan oleh perekaman video aliran dalam tabung kapiler transparan yang terbuat dari leburan silika, dimana air terdeionisasi dan gas nitrogen disuntikan pada kecepatan superficial  $J_G = 0,1-60$  m/s untuk gas, dan  $J_L = 0,02- 4$  m/s untuk cairan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki secara eksperimental karakteristik aliran dua fasa dalam microchannel berdiameter 100  $\mu$ m, dan mengidentifikasi perubahan yang terjadi karena penurunan diameter dari 1 mm sampai 100  $\mu$ m.

Chung dan Kawaji, dkk (2004) Efek saluran diameter pada dua fasa flow diselidiki untuk mengidentifikasi gejala-gejala yang membedakan microchannels dari saluran mini. Eksperimen dilakukan dengan campuran nitrogen gas dan air di saluran melingkar dengan diameter 530, 250, 100, dan 50  $\mu$ m. Suhu, tekanan, dan flow tingkat cairan dan gas diukur dan dicatat gambar pola aliran. Jelas, diameter saluran memiliki efek pada dua fasa flow di kisaran saluran diameter diselidiki. Siput flow model baru juga diusulkan untuk mendapatkan wawasan fisik karakteristik flow diamati di microchannels. Model dapat memprediksi gradien tekanan friksional dua fasa untuk saluran 100 dan 50  $\mu$ m, jika data aktual Fraksi yang digunakan, menguatkan mekanisme flow sebagai sumed.

sudarja, dkk (2014). Bahan penelitian berupa fluida gas dan cair. Fluida gas yang digunakan adalah udara dengan kelembaban rendah, yang didapat dari kompresor udara yang dilengkapi dengan *dryer* dan *water trap*, sedangkan untuk fluida cair digunakan air yang dialirkan ke dalam sistem dengan bantuan pompa air dan plenum. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Dengan metode yang dilakukan adalah visualisasi dengan menggunakan kamera canon 500D. Dari penelitian tersebut telah didapatkan hasil berupa pola aliran yang terdeteksi adalah : *bubbly*, *slug*, *slug-annular*, *wavy annular*, dan *annular*.

Adiwibowo (2010). Pada penelitian yang dilakukan, bertujuan untuk mengetahui tentang pengaruh penggunaan pipa vertikal terhadap karakteristik *flow pattern* pada aliran dua fase gas-cairan. Penelitian yang dilakukan secara eksperimental ini menggunakan pipa transparan yang memiliki diameter dalam 36 mm pada pipa vertikal serta air yang digunakan sebagai fluida kerja cairan dan udara sebagai fluida kerja gas. Hasil visualisasi flow pattern pada pipa vertikal menggunakan kamera digital agar bisa melihat hasilnya. Dari hasil penelitian yang telah diperoleh dapat ditarik kesimpulan bahwa, aliran dua fase gas cairan yang melewati pipa vertikal telah terjadi perubahan karakteristik flow pattern yang dapat dipengaruhi oleh kecepatan superficial cairan serta kualitas volumetric gas.

Sukamta, dkk (2010) melakukan penelitian tentang identifikasi pola aliran dua fasa uap-kondensat berdasarkan pengukuran beda tekanan pada pipa horizontal. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk laju aliran uap terendah, pola aliran bertingkat diidentifikasi sedangkan untuk variasinya, bertingkat, bergelombang, pasang dan pola aliran slug diamati. Pola aliran bergelombang terjadi pada transisi bertingkat ke *slug* atau *plug*. Pola aliran yang teridentifikasi pada aliran dua fasa air-uap (kondensat) dari hasil kondensat uap pada pipa horizontal ini meliputi pola aliran *stratified*, *wavy*, *plug*, *pre-slug*, dan *slug*.

M.H.Saidi (2011). Dalam studi ini, pola aliran udara – air, aliran dua fase telah diselidiki secara eksperimental dalam pipa mini vertikal. Peneliti mengamati pola aliran menggunakan perekam berkecepatan tinggi dengan diameter pipa adalah 2,3 dan 4 mm dan panjang 27,31 dan 25 cm. Visualisasi komprehensif udara – air, aliran dua fase dalam pipa mini vertikal telah dilakukan untuk mewujudkan fisika seperti aliran dua fase. Pola aliran udara – air yang berbeda diamati secara bersamaan dalam pipa mini pada nilai – nilai yang berbeda dari laju aliran udara dan air. Akibatnya, peta pola aliran diusulkan untuk mengalir dalam pipa mini, dalam hal kecepatan superficial fase cair dan gas.

sudarja, dkk (2014). Bahan penelitian berupa fluida gas dan cair. Fluida gas yang digunakan adalah udara dengan kelembaban rendah, yang didapat dari kompresor udara yang dilengkapi dengan *dryer* dan *water trap*, sedangkan untuk fluida cair digunakan air yang dialirkan ke dalam sistem dengan bantuan pompa air dan plenum. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Dengan metode yang dilakukan

adalah visualisasi dengan menggunakan kamera canon 500D. Dari penelitian tersebut telah didapatkan hasil berupa pola aliran yang terdeteksi adalah : *bubbly*, *slug*, *slug-annular*, *wavy annular*, dan *annular*.

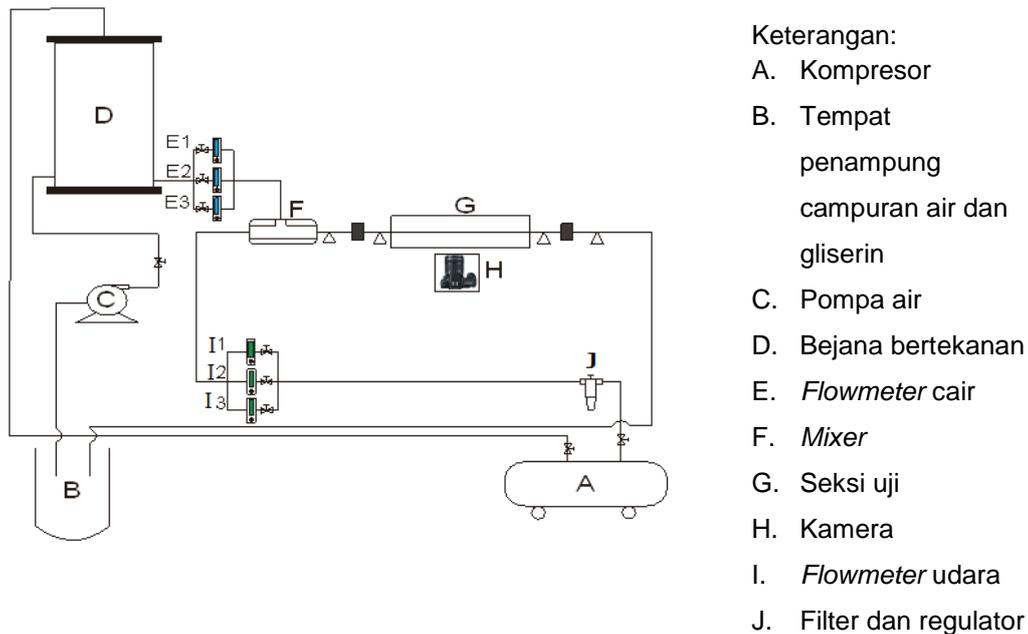
Menurut Apip Badarudin, dkk (2014) yang melakukan penelitian tentang observasi pola aliran dua fase air-udara berlawanan arah pada pipa kompleks,. Pengamatan terhadap pola aliran pada pipa hot-leg ini dilakukan di sekitar daerah Stable Counter-current Flow dan Partial Delivery yang memiliki kondisi onset of flooding sampai zero-liquid penetration atau yang dikenal sebagai kondisi counter-current flow limitation (CCFL). Pengamatan dilakukan dengan merekam menggunakan kamera video berkecepatan tinggi dan memutar pada kecepatan rendah agar dapat dilakukan klasifikasi dan identifikasi aliran. Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa dengan semakin sempitnya fraksi hampa udara dan debit udara tetap maka kecepatan udara yang telah melewati daerah tersebut mempunyai kecepatan yang akan semakin tinggi. Ketika gelombang cairan berkembang maksimum dan memenuhi penampang pipa, tekanan udara akan naik sehingga mampu mendorong gelombang dan akan terbentuk *slug*.

Menurut Agus Dwi Korawan (2015) yang melakukan penelitian tentang pola aliran air udara pada pipa horizontal dengan variasi kecepatan air. Dalam penelitian ini bertujuan agar bisa melihat perubahan pola pada aliran dua fase dalam pipa horizontal dengan variasi kecepatan superfisial air. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan test module yang terbuat dari pipa *acrylic* dengan diameter dalam 36 mm dan panjang 2000 mm. air digunakan sebagai fluida cair dan udara sebagai fluida gas. Untuk mendapatkan gambar pola aliran digunakan kamera digital. Pada penelitian ini didapatkan hasil berupa pola aliran *bubble flow*, *slug flow*, dan *stratified flow*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini dengan melakukan pengamatan pola aliran yang muncul dengan metode visual memakai kamera Nikon J4. Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan didapati pola yang berhasil diamati adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Dan hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya viskositas berpengaruh kepada garis transisi peta pola aliran yang terbentuk.

### 3. Metode Penelitian

Instalasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. terdiri dari komponen utama: tangki air, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *test section*, *water trap*, *mixer*, dan konektor. Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian, antara lain: *optical correction box*, kamera, komputer. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian, antara lain: *flowmeter* air, *flowmeter* udara. Untuk pengambilan gambar video aliran, digunakan kamera berkecepatan tinggi merk Nikon tipe J4, dengan kecepatan 1200 fps dan resolusi 640 x 480 pixel. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Eksperimen dilakukan pada kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dengan interval 0,025 – 66,3 m/s, dan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) dengan interval 0,033 – 4,935 m/s.



Gambar 1. Skema instalasi penelitian

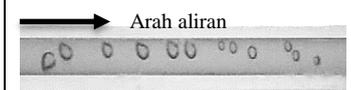
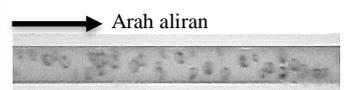
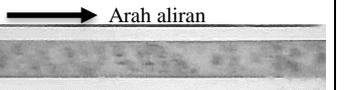
## 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan aliran dua fase pada saluran mini dengan fluida kerja berupa campuran *aquades-gliserin* dan udara meliputi : pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran pada setiap variasi campuran *aquades-gliserin*, dan perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu.

### 4.1 Pola aliran bubbly

Pola aliran *bubbly* terjadi pada suatu kondisi kecepatan superfisial udara yang rendah serta kecepatan cairan yang cukup tinggi. Pada kondisi seperti ini, debit udara yang mengalir dengan kecepatan yang rendah akan berkumpul di *mixing*, dan kemudian mencoba agar bisa menerobos ke volume cairan yang lebih mendominasi. Dengan semakin bertambahnya volume udara, serta mengecilnya luas permukaan *mixing* menuju ke saluran, maka udara berusaha untuk mendorong cairan. Karena pengaruh pada tegangan permukaan, aliran udara yang menerobos aliran fluida akan seperti terpotong-potong sehingga akan timbul aliran *bubbly*

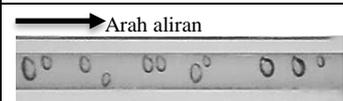
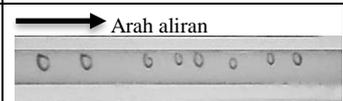
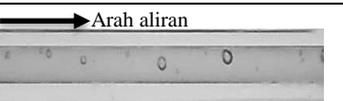
Tabel 4.1 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 0,423$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

0,879 m/s	2,297m/s	4,935 m/s
		

Pada perbandingan nilai superfisial cairan yang bervariasi dan nilai superfisial gas tetap, kemunculan pola *bubbly* sudah mulai terlihat pada  $J_L$  0,879-4,935 m/s dengan  $J_G$  0,423 dan campuran gliserin 0% terlihat pada Tabel 4.1. *Bubbly* pada  $J_L$

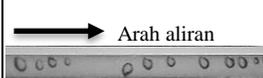
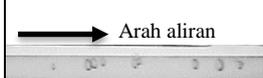
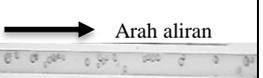
0,879 m/s terlihat pada bagian hidung berbentuk bulat dan pada ekornya seakan bergerak-gerak pada bagian tengah ujung *bubbly* dengan intensitas kemunculan *bubbly* sedikit jarang muncul dikarenakan kecepatan superficial yang kecil dan disertai kemunculan *plug* yang panjang. Dan untuk  $J_L$  2,297 m/s kemunculan pola *bubbly* menjadi kecil-kecil dan sedikit berdempetan antara *bubbly* sehingga pada hasil yang didapat kamera sedikit kurang jelas terlihat dikarenakan kecepatan pola aliran. Bentuk hidung dan ekor pada *bubbly* hampir membentuk bulat sempurna dan *plug* menjadi sedikit pendek dibandingkan dengan  $J_L$  0,879 m/s. Kemudian saat kecepatan superficial gas dan cairan ditingkatkan intensitas kemunculan pola *bubbly* semakin tinggi dan jarak antara *bubbly* pun menjadi semakin beragam dan semakin rapat antara *bubbly* yang terdistribusi merata pada seluruh luas penampang dari saluran pipa. Untuk  $J_L$  4,935 m/s intensitas kemunculan pola *bubbly* menjadi lebih sering terjadi, dengan bentuk hidung dan ekor bulat. Terdapat *plug* yang muncul dahulu yang kemudian diikuti dengan *bubbly* saling berdempetan dengan jumlah banyak dan kemudian muncul *bubbly* kecil seperti *dispersed bubbly*.

Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,879$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

0,025 m/s	0,066 m/s	0,116 m/s
		

Beberapa jenis pola aliran *bubbly* yang telah berhasil diamati pada penelitian disajikan pada Tabel 4.2. Pada  $J_L$  0,025 m/s terlihat bentuk *bubble* cukup besar dimana hampir menutupi diameter pipa dan bentuk *bubbly* ini sendiri tidak beraturan. Sedangkan pada  $J_L$  0,066 m/s dan  $J_L$  0,116 m/s bentuk *bubbly* pada bagian hidung yang terbentuk setengah lingkaran dengan intensitas kemunculan *bubbly-bubbly* kecil lebih tinggi karena kondisi ini menyebabkan udara yang masuk ke dalam pipa mengalami gangguan didalam cairan dan beriringan dengan *plug* sebelum akhirnya *bubbly* muncul. Bentuk *bubbly* juga terbentuk cukup beragam pada  $J_G$  0,025-0,116 m/s. Seiring dengan naiknya nilai pada kecepatan kecepatan superficial gas maka ukuran pada pola *bubbly* akan mulai mengecil yang kemudian akan beriringan dengan munculnya *plug* berukuran panjang.

Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *bubbly* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G$  0,423 m/s dan  $J_L$  0,89 m/s

GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			

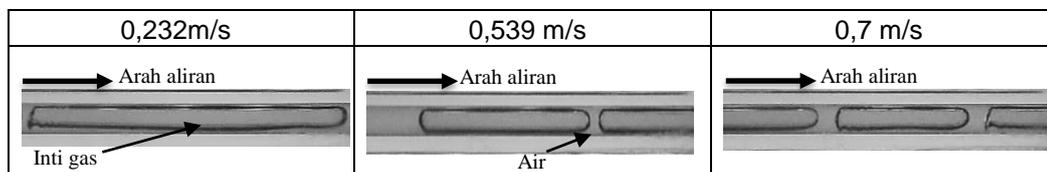
Pengaruh viskositas yang meningkat pada kemunculan aliran *bubbly* terlihat begitu jelas dalam bentuk. Pengaruh yang terlihat jelas adalah aliran *bubbly* yang muncul memiliki kecepatan *bubbly* yang lebih lambat dengan meningkatnya konsentrasi gliserin pada kecepatan superficial fluida cair dan fluida gas yang sama. Hal ini disebabkan karena udara yang mendorong fluida cair semakin mengalami hambatan dengan meningkatnya viskositas pada fluida cair yang digunakan. Dari table 4.3 terlihat bentuk *bubbly* yang semakin rapi tidak memiliki hidung berbentuk acak karena fluida cair yang memiliki viskositas semakin tinggi yang mengakibatkan udara tidak bisa memecah aliran fluida. Terlihat pada konsentrasi gliserin 10% *bubbly* yang teramati semakin kecil dan juga memiliki jarak yang tidak beraturan.

Dengan meningkatnya viskositas pada konsentrasi gliserin 30% kemunculan *bubbly* juga semakin meningkat jika dibandingkan pada konsentrasi 0%

#### 4.2 Pola aliran *plug*

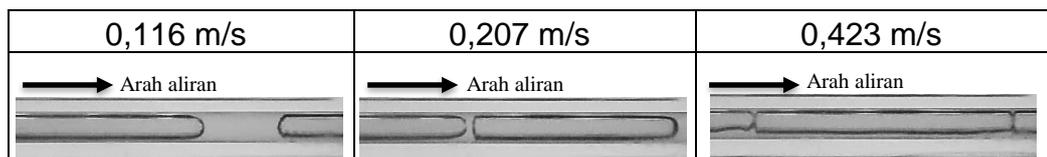
Pola aliran *plug* terjadi pada saat kecepatan relatif antar fase tidak cukup tinggi atau tidak dapat memecah volume menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Udara cukup kuat untuk membentuk kantong udara yang memiliki ukuran lebih dari diameter saluran. Pola aliran *plug* mulai terbentuk ketika kecepatan superfisial gas berada pada  $J_G$  0,026 m/s dan untuk kecepatan superfisial cairan pada  $J_L$  0,033 m/s. Pada setiap konsentrasi gliserin 0%, 10%, 20%, dan 30% kemunculan pola aliran *plug* muncul pada nilai  $J_G$  dan  $J_L$  yang sama.

Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_G$  tetap yaitu  $J_G = 0,207$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi



Jika kecepatan superfisial cairan dinaikkan maka panjang pada *plug* akan semakin berkurang dan tertekan oleh *slug* air yang mengalami pertambahan panjang, akan tetapi pertambahan panjang terhadap *slug* air tidak sebanding terhadap pengurangan panjang *slug* udara. Seperti pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa dengan nilai  $J_G$  yang tetap dan  $J_L$  yang divariasikan meningkat terlihat pola yang dihasilkan semakin pendek. Dan apabila nilai superfisial cairan dinaikkan hingga mendekati perbatasan pola aliran *bubbly* maka pola aliran *plug* akan mengalami gangguan berupa adanya gelombang pada bagian ujung *plug* atau ekor *plug*. Pada nilai kecepatan superfisial cairan yang bervariasi bentuk dari *plug* tidak banyak mengalami perubahan hanya saja semakin besar nilai  $J_L$  untuk konsentrasi gliserin yang sama menimbulkan perubahan pada ekor *plug*.

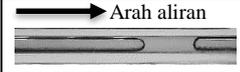
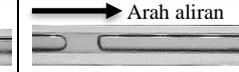
Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_L$  tetap yaitu  $J_L$  0,539 m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi



Pola aliran *plug* yang berhasil diamati pada nilai  $J_L$  0,539 m/s dengan menggunakan variasi nilai  $J_G$  yang berbeda, pada konsentrasi gliserin 0% memiliki bentuk hampir sama dengan konsentrasi gliserin yang lain, namun ketika nilai  $J_G$  semakin besar membuat jarak antar *plug* semakin rapat atau semakin menempel. Semakin besar nilai kecepatan nilai superfisial gas mengakibatkan ruang pemisah antara pola *plug* jadi semakin dekat karena cairan pemisah *plug* mulai tertekan oleh gas yang semakin membesar. Ketika kecepatan superfisial gas dinaikkan membentuk *plug* panjang dengan jarak antar *plug* semakin dekat.

Pengaruh kecepatan superfisial gas terlihat mempengaruhi bentuk, ukuran dan jarak antar *plug* yang terbentuk, semakin besar kecepatan superfisial gasnya mengakibatkan *plug* semakin memanjang, serta semakin rapatnya antar tiap pola aliran *plug* yang dihasilkan dan menyebabkan gelombang pada pola aliran *plug*.

Tabel 4.6 Perbandingan pola aliran *plug* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G = 0,423 \text{ m/s}$  dan  $J_L = 0,539 \text{ m/s}$

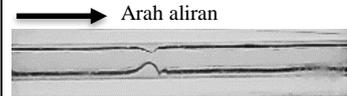
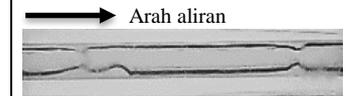
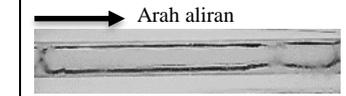
GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			

Pengaruh nilai viskositas yang semakin besar menyebabkan pada pola aliran *plug* menjadi semakin mengecil pada ukuran pola. Hal ini dikarenakan cairan yang semakin kental menyebabkan gas semakin sulit untuk mendorong cairan dan menyebabkan gas menjadi mengecil. Dan pada pengaruh nilai viskositas ini menyebabkan laju pada aliran *plug* menjadi menurun seiring dengan meningkatnya viskositas.

### 4.3 Pola aliran *slug annular*

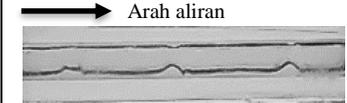
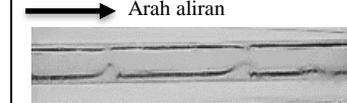
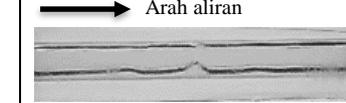
Pola aliran *slug annular* adalah sebuah pola aliran yang terbentuk dari *plug* dan *annular*. Pada pola ini aliran udara berkelanjutan dan aliran cairan pada bagian atas dan bawah bagian pipa membentuk gelombang. Lapisan air yang terbentuk pada bagian bawah saluran lebih tebal dari pada bagian atas. Terbentuknya pola aliran *slug annular* ketika berada pada kecepatan superficial udara di tingkatkan yang menyebabkan pola aliran *plug* yang terpisah oleh air berhasil diterobos oleh udara sehingga terbentuk aliran *slug annular*. Aliran *slug annular* mulai teramati pada  $J_G 3 \text{ m/s}$  dan  $J_L 0,033 \text{ m/s}$ .

Tabel 4.7 Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 7 \text{ m/s}$  dan nilai  $J_L$  bervariasi

0,091m/s	0,149m/s	0,232 m/s
		

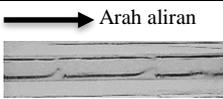
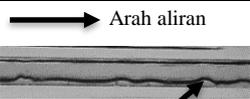
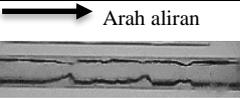
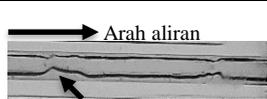
Pada tabel 4.7 terlihat perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, serta memvariasikan nilai  $J_L$  untuk mengetahui pengaruh kecepatan superficial air terhadap pola aliran *slug annular*. Dengan Variasi yang digunakan adalah 0,091 m/s, 0,149 m/s, dan 0,232 m/s. Perbedaan yang terjadi dengan meningkatnya nilai  $J_L$  tidak begitu jelas terlihat, tapi semakin besar nilai  $J_L$  0,091 m/s terlihat bahwa aliran *slug annular*, hampir putus akan tetapi gas tetap membentuk pola aliran *slug* dan jika dilihat gas yang hampir terputus akan membentuk pola aliran *plug*. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya volume air sehingga aliran udara mulai terdorong dan tercekik sehingga terlihat pola *slug annular* yang hampir putus menyerupai aliran *plug*.

Tabel 4.8 Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L 0,232 \text{ m/s}$  dan nilai  $J_G$  bervariasi

4,238 /s	7 m/s	9,62 m/s
		

Perbandingan kecepatan superficial gas terlihat pada tabel 4.8 dengan memvariasikan nilai  $J_G$ , pada konsentrasi 0%. Sama seperti pengaruh nilai  $J_L$  kenaikan nilai  $J_G$  tidak begitu jelas terlihat perbedaan yang terjadi. Nilai  $J_G$  yang di variasikan adalah 4,238 m/s, 7 m/s, dan 9,62 m/s, terlihat sedikit perbedaan pada jumlah gelombang-gelombang air yang jauh lebih berkurang, dan menjadi lebih tenang jika dibandingkan dengan  $J_G$  4,238 m/s. Meningkatnya nilai kecepatan superficial gas di 9,62 m/s membuat aliran *slug annular* memiliki gelombang yang lebih kecil menyerupai aliran *annular* hal ini disebabkan oleh aliran gas yang jauh lebih dominan dari aliran air, sehingga aliran air yang semula terlihat bergelombang yang berusaha untuk memutus aliran gas dan mendorong aliran *slug annular* mulai terdorong oleh aliran gas yang besar.

Tabel 4.9 Perbandingan pola aliran *slug annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G$  4,238 m/s dan  $J_L$  0,091 m/s

GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			
Arah aliran	Arah aliran	Arah aliran	Arah aliran
	Gelombang Gas		Lapisan Air

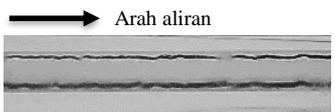
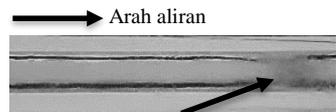
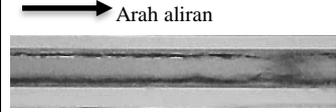
Dari hasil pengamatan lapisan air pada bagian bawah lebih tebal jika dibandingkan dengan lapisan air bagian atas. Dan semakin besar konsentrasi gliserin maka muncul gelombang air yang cukup besar, akan tetapi tidak bisa memutus. Menurut hasil pengamatan terdapat dua pola pada aliran *slug annular* yang pertama adalah munculnya gelombang pada sisi atas dan bawah yang kemudian mencekik laju aliran udara dan yang kedua adalah munculnya gelombang besar dari sisi bawah seperti ombak. Kemudian untuk perbandingan campuran gliserin 0%, 10%, 20%, dan 30% hampir tidak ditemui perbedaan pada segi bentuk.

#### 4.4 Pola Aliran *Annular*

Terbentuknya pola aliran *annular* ketika nilai  $J_G$  50 m/s dan  $J_L$  0,033 m/s, kemunculan aliran *annular* selalu sama pada tiap konsentrasi gliserin. Perbedaan yang terjadi ketika konsentrasi gliserin 10%, 20%, dan 30% tidak begitu jelas perbedaannya. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan seksama aliran *annular* memiliki gelombang-gelombang kecil yang bergerak cepat.

Pada tabel 4.10 terlihat jika kecepatan superficial air ditingkatkan maka kecepatan riak riak air bagian atas maupun bagian bawah terlihat semakin cepat. Hal ini juga terjadi pada setiap konsentrasi gliserin yang bervariasi. Dan pada  $J_L$  0,149 m/s dan 0,232 m/s terdapat gangguan yang terjadi berupa bayangan hitam yang muncul, dengan semakin meningkatnya kecepatan superficial air maka bayang hitam yang muncul terlihat semakin hitam.

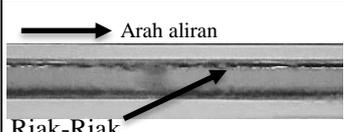
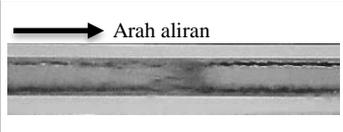
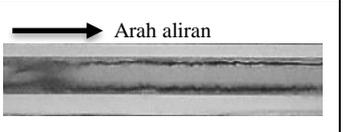
Tabel 4.10 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G$  58,05 m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

0,091m/s	0,149 m/s	0,232m/s
		
Arah aliran	Arah aliran	Arah aliran
	Bayangan Hitam	

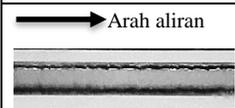
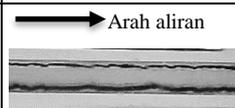
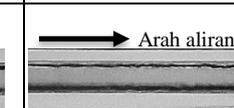
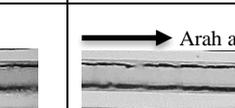
Tabel 4.11 terlihat pada perbandingan pola aliran *annular* perbedaan yang terjadi tidak begitu terlihat jelas. Hanya pada sisi atas dan bawah yang

mengalami penguran jumlah riak-riak air. Hal ini dikarenakan aliran gas mendorong aliran air yang berada pada kedua sisi sehingga aliran air atau riak air di kedua sisi tidak begitu jelas. Jika kecepatan superfisial gas ditingkatkan mengakibatkan aliran *annular* menjadi semakin tenang. Namun jika kecepatan superfisial gas ditingkatkan gangguan yang dialami juga semakin terlihat jelas, dimana pada  $J_G$  66,3 m/s gangguan yg terjadi hampir menyerupai *churn*.

Tabel 4.11 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L$  0,232 m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

50 m/s	58,05 m/s	66,3 m/s
 <p>Arah aliran</p> <p>Riak-Riak</p>	 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p>

Tabel 4.12 Perbandingan pola aliran *annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G$  50 m/s dan  $J_L$  0,149 m/s

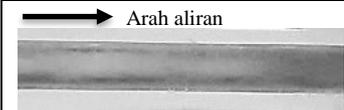
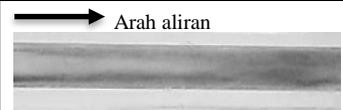
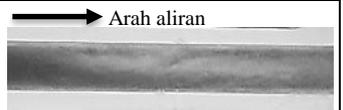
GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p>

Pada kondisi ini kemunculan aliran gas jauh lebih intensif di bagian tengah dan aliran air yang cukup tipis pada bagian tepi. Nampak riak-riak kecil muncul di sepanjang aliran. Dan pada perbandingan  $J_G$  dan  $J_L$  terlihat ada gangguan pada campuran gliserin 0% - 20% berupa terlihat ada bayangan hitam yang muncul di tengah-tengah pola. Semakin meningkatnya viskositas maka gangguan berupa bayangan hitam mulai menghilang. Untuk campuran larutan gliserin 0%, 10%, 20%, dan 30% tidak memiliki perbedaan yang cukup berarti pada pola aliran *annular* seperti pada Tabel 4.12. Hal yang menyebabkan oleh pengaruh ini karena gaya inersia yang lebih besar dibandingkan dengan pengaruh viskositas dan dalam pembentukan pola aliran ini sehingga masing-masing konsentrasi bentuk dari pola aliran *annular* tidak jauh berbeda. Viskositas yang semakin meningkat membuat riak-riak yang muncul semakin sedikit dan semakin besar ukurannya.

#### 4.5 Pola aliran *churn*

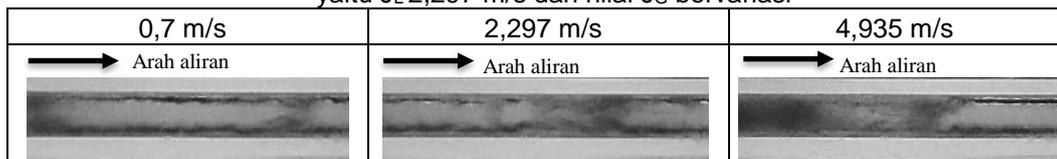
Pola aliran *churn* terjadi pada nilai kecepatan superfisial udara dan nilai kecepatan superfisial cairan sangat tinggi. Dengan besarnya jumlah pada volume cairan yang masuk seharusnya aliran *plug* dapat terbentuk, namun laju udara yang besar membuat air terdispersi menjadi ukuran yang lebih kecil lalu mengalir dan mengalir dalam kecepatan yang sangat tinggi sehingga dalam pengamatan hanya terlihat bayangan hitam pada inti gas yang diselubungi cairan fluida cair yang kecepatannya sama-sama cepat.

Tabel 4.13 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G$  50 m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

0,7 m/s	2,297 m/s	4,935 m/s
 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p>

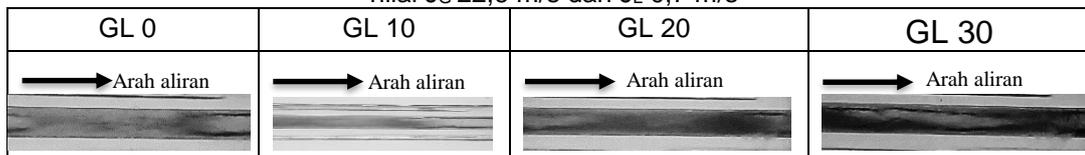
Pada tabel 4.13 ditunjukkan perbandingan pola aliran *churn* ketika nilai  $J_L$  yang di variasikan. Terlihat perbedaan ketika  $J_L$  4,935 m/s, bayangan hitam yang terlihat pada pola aliran *churn* jauh lebih banyak dari pada ketika  $J_L$  yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena debit air yang besar mengakibatkan udara terdispersi sehingga yang terlihat bayangan hitam. Semakin besarnya  $J_L$  bayangan hitam akan terlihat semakin dominan dan semakin cepat mengakibatkan sulitnya pengambilan gambar secara optimal.

Tabel 4.14 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L$  2,297 m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi



Perbandingan pola aliran *churn* dengan memvariasikan kecepatan superficial udara terlihat pada tabel 4.14 dengan  $J_L$  tetap yaitu 2,297 m/s. Semakin meningkatnya nilai  $J_G$  membuat aliran gas lebih dominan, terlihat ketika  $J_G$  66,3 m/s bayangan hitam terlihat banyak muncul jika dibandingkan  $J_G$  50 m/s. Bayangan hitam yang banyak dengan meningkatnya nilai  $J_G$  menunjukkan bahwa aliran gas lebih dominan pada aliran *churn*. Fenomena yang terjadi akibat kenaikan  $J_G$  terjadi untuk semua konsentrasi gliserin.

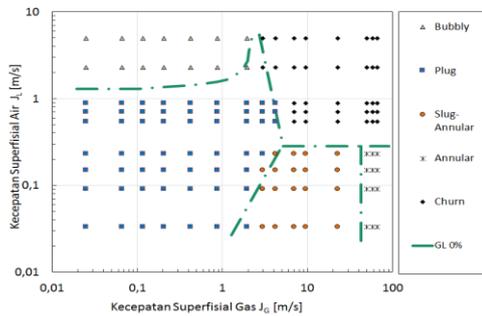
Tabel 4.15 Perbandingan pola aliran *churn* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G$  22,6 m/s dan  $J_L$  0,7 m/s



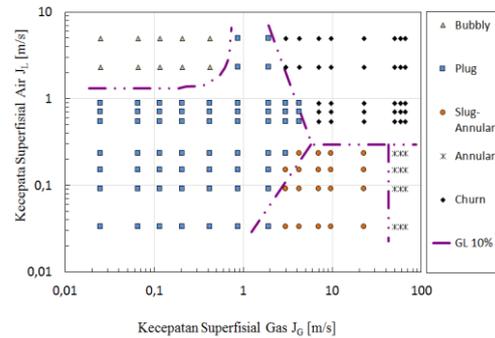
Pada Tabel 4.15 terlihat semakin besar viskositas campuran gliserin maka bayangan pada pola aliran terlihat semakin hitam, jelas dan juga cepat. Terlihat pada viskositas campuran 30% dengan koordinat  $J_G$  9,62 m/s dengan  $J_L$  2,297 m/s, dimana pola aliran *churn* terlihat bayangan yang lebih hitam muncul cukup intens. Karena keterbatasan kemampuan pada kamera, maka bayangan hitam yang muncul sulit di analisa lebih lanjut.

### 4.5 Peta pola aliran

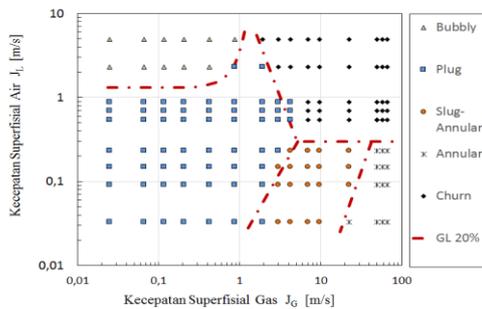
Pola aliran yang telah berhasil diamati dan diidentifikasi kemudian dipetakan dalam sebuah peta pola aliran. Banyaknya data yang diambil pada penelitian ini adalah 144 pada setiap konsentrasi campuran gliserin. Kemudian data ini di plot dengan menggunakan koordinat sumbu kecepatan superficial udara pada sumbu (x) dengan skala 0,01-100 m/s sedangkan pada kecepatan superficial cairan pada sumbu (y) dengan skala 0,01-10 m/s. Peta pola aliran ini digambarkan dalam skala logaritma. Penggunaan skala logaritma digunakan agar pada pemetaan menjadi tidak terlalu besar dikarenakan nilai sumbu (x) hingga pada skala 100 m/s sehingga dipilih menggunakan skala logaritma untuk mengurangi jarak pada pola yang akan dibuat peta pola aliran. Pada peta pola aliran yang telah berhasil terbentuk digambarkan juga garis transisi pola aliran. Garis ini menunjukkan kombinasi manakah aliran yang berubah dari satu pola ke pola yang lain.



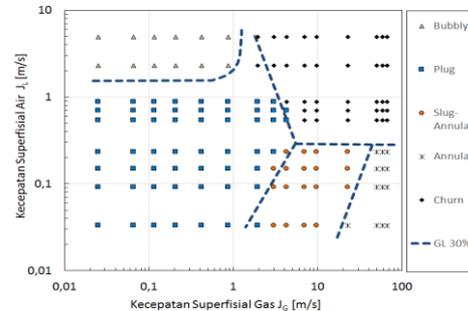
Gambar 4.1 Peta pola aliran gliserin 0%



Gambar 4.2 Peta pola aliran gliserin 10%

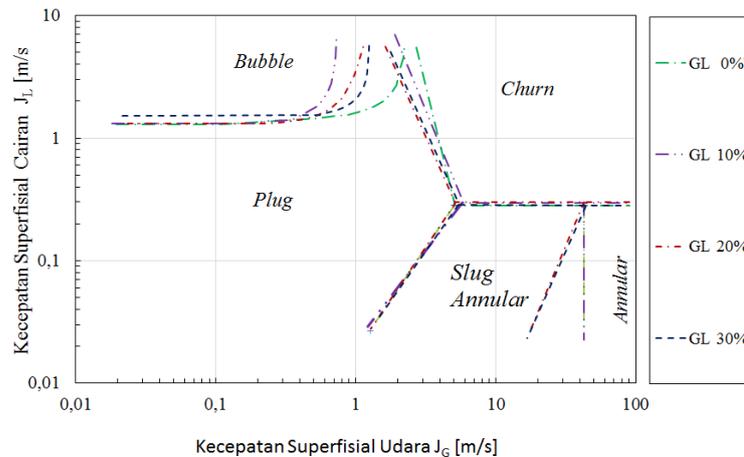


Gambar 4.3 Peta pola aliran gliserin 20%



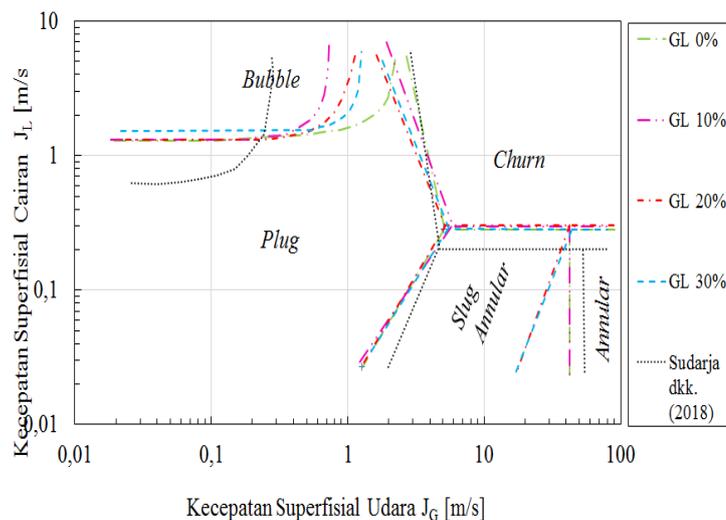
Gambar 4.4 Peta pola aliran gliserin 30%

Meningkatnya viskositas terhadap persebaran pola aliran pada peta pola aliran terlihat perbedaan luas garis transisi yang terjadi antar tiap peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin yang berbeda. Pada Gambar 4.5 terlihat perbandingan peta pola aliran (0%, 10%, 20%, 30%) pada sudut 45° dengan menggunakan pipa kaca 1,6 mm. Pada perbandingan peta dari tiap gliserin yang diujikan kemudian dibuat perbedaan garis transisi agar mempermudah proses pembacaan dan analisa perbedaan yang terjadi dari tiap garis transisi yang didapat. Area transisi kemunculan *bubbly* pada konsentrasi gliserin 0% terlihat memiliki luas yang jauh lebih besar daripada konsentrasi 10% dan 20%, dan konsentrasi 30%. Perbedaan yang begitu terlihat juga pada transisi kemunculan aliran *plug* pada konsentrasi 10% memiliki perbedaan yang menunjukkan kemunculan *plug* jauh lebih banyak dari pada konsentrasi yang lain. Pada garis transisi *slug annular* menunjukkan jumlah *slug annular* yang jauh berkurang pada konsentrasi 20% dan 30% yang tergantikan oleh pola aliran *annular*, sehingga pada garis transisi menjadi menyering ke kiri.



Gambar 4.5 Peta pola aliran gliserin 0-30%

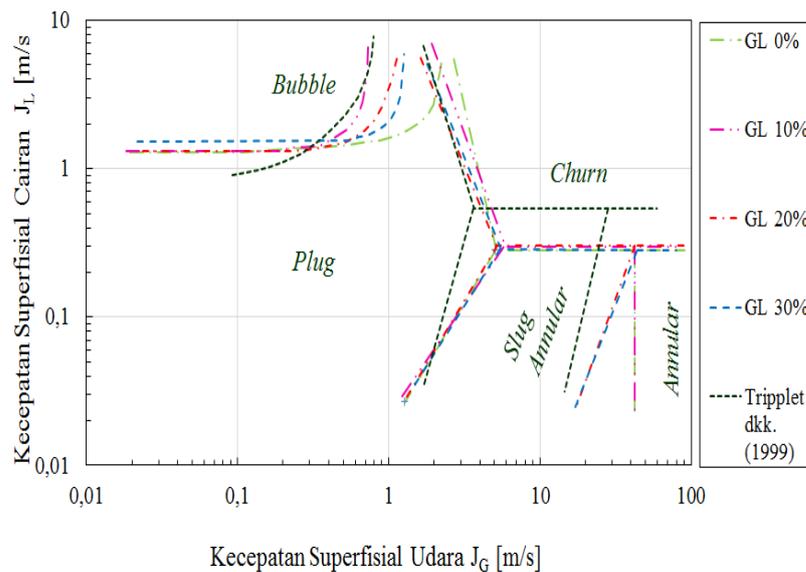
#### 4.6 Perbandingan Peta Pola Aliran Dengan Penelitian Sebelumnya.



Gambar 4.6 Perbandingan peta pola aliran 0-30 dan garis transisi Sudarja dkk, (1999)

Perbandingan peta pola aliran untuk perubahan viskositas dibandingkan dengan hasil penelitian Sudarja dkk. (2018) terlihat pada gambar 4.6 dimana dalam penelitiannya menggunakan saluran mini horizontal berukuran 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja berupa gas dan gliserin dengan campuran aquades. Penelitian yang dilakukan oleh Sudarja dkk. (2018) serupa dengan penelitian yang saat ini dilakukan. Hanya saja yang membedakan adalah campuran konsentrasi gliserin dan penggunaan sudut kemiringan sejumlah 45°. Pola aliran yang telah teramati pada penelitian ini ada lima, yaitu : *plug*, *bubbly*, *slug annular*, *churn*, *annular*. Adanya peningkatan terhadap viskositas memberikan pengaruh terhadap

pola aliran, terutama pada garis transisi pola aliran *bubble*, *slug annular*, *annular*. Dengan peningkatan konsentrasi gliserin garis transisi pada pola aliran *bubbly* dan *plug* terlihat bergeser ke arah kanan menandakan semakin banyaknya pola aliran *bubbly* dan *plug*. Pada pola aliran *slug annular* dan *annular* terlihat semakin meningkatnya konsentrasi gliserin maka garis transisi yang terbentuk bergerak ke kiri dan menyempit. Dan jika dibandingkan dengan penelitian Sudarja dkk., (2018) terlihat jika garis transisi *bubbly* dan *plug* terlihat lebih menyempit ke atas dan intensitas kemunculan *bubbly* lebih terlihat pada kecepatan superficial cairan yang sedikit lebih rendah dari pada penelitian yang saat ini dilakukan. Sedangkan pada garis transisi yang lain tidak terlalu berbeda dengan penelitian Sudarja dkk., (2018) dimana pergeserannya lebih konsisten .



**Gambar 4.7 Perbandingan peta pola aliran 0-30 dan garis transisi Triplet dkk, (1999)**

Pada gambar 4.6 peneliti Triplet dkk. (1999) dalam penelitiannya memakai fluida udara dan air. Dalam penelitian ini, Triplet dkk. (1999) menggunakan pipa sirkular dengan diameter 1,1 mm dan 1,45 mm dan pipa *semi-triangular* dengan diameter yang digunakan 1,09 mm dan 1,49 mm juga digunakan dalam penelitian ini. Dari gambar tersebut terlihat bahwa posisi pada kelima pola aliran dengan penelitian Triplet dkk. (1999) terletak pada bagian yang sama. Pada garis transisi Triplet dkk. (1999) terlihat daerah pola aliran *bubble* membentuk seperempat lingkaran dan terlihat hampir menyerupai garis transisi pada campuran gliserin 10%. Terlihat pola *annular* sedikit lebih intensif kemunculannya dibandingkan dengan penelitian yang sedang dilakukan. Dan terlihat garis transisi pada pola aliran antara *plug* dan *slug annular* kemudian *slug annular* dan *annular* terbentuk lebih lurus dibandingkan dengan penelitian yang sedang dilakukan.

## 5. Kesimpulan

1. Pola aliran yang berhasil didapatkan pada saluran mini horizontal berukuran 1,6 mm yang dipasangkan dan kemudian diatur dengan kemiringan 45° dan pada variasi nilai  $J_G$  0,025 - 66,3 m/s dan pada variasi nilai  $J_L$  0,033 - 4,935 m/s adalah pola : *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*.
  - Pada pola aliran *bubbly* setelah diamati, kemunculan awal terjadi pada kecepatan superfisial gas atau  $J_G$  0,025 m/s dan kecepatan superfisial air atau  $J_L$  0,033 m/s. Pola aliran *bubble* ini sendiri muncul pada saat kecepatan superfisial air atau  $J_L$  jauh lebih besar dibandingkan nilai kecepatan superfisial gas  $J_G$ .
  - Pola aliran *plug* menjadi pola yang lebih dominan muncul pada penelitian ini dan terbentuk mulai dari nilai  $J_G$  0,025 m/s dan  $J_L$  0,033 m/s pada setiap konsentrasi campuran gliserin.
  - Pola aliran *slug annular* mulai terbentuk pada saat nilai kecepatan superfisial gas atau  $J_G$  jauh lebih besar dari pada nilai kecepatan superfisial air atau  $J_L$ . Sehingga aliran gas mampu menembus kolom air dan membentuk aliran gas yang berlanjut dengan gelombang air dari yang berasal dari lapisan air yang mengalir sehingga yang sebelumnya pola aliran *plug* muncul menjadi menghilang dan terganti dengan kemunculan aliran *slug annular*. Kemunculan pada pola aliran *slug annular* terjadi pada kordinat pada  $J_G$  3 m/s dan  $J_L$  0,033 m/s pada setiap konsentrasi gliserin.
  - Pola aliran *annular* terbentuk saat aliran udara mendominasi terhadap saluran, ketika nilai  $J_G$  semakin ditingkatkan dan nilai  $J_L$  tetap pada transisi sebelum kemunculan pola aliran *churn* maka kemunculan pola *annular* akan terbentuk. Pada pola aliran *annular* kecepatan superfisial gas dan cairan selalu sama munculnya, yaitu pada  $J_G$  50 m/s dan  $J_L$  0,033 m/s.
  - Pola aliran *churn* akan mulai muncul pada saat nilai  $J_L$  semakin meningkat sehingga pola aliran *annular* mulai menghilang. Dan pada kecepatan superfisial gas dan cairan yang semakin meningkat sehingga semakin meningkatnya kecepatan superfisial gas dan cairan menyebabkan pola aliran *churn* menjadi tidak terlihat dengan jelas.
2. Dengan semakin meningkatnya viskositas dapat mempengaruhi terbentuknya pola aliran, yaitu pada pola aliran *bubbly* dan *plug*. Pada pola aliran *bubbly* ketika viskositas ditingkatkan maka pola *bubbly* yang terbentuk semakin bulat pada bagian ekor *bubbly* dan lebih menempel antara *bubbly*. Sedangkan pada pola aliran *plug* jika viskositas ditingkatkan maka pola aliran yang terbentuk menjadi semakin panjang pada ukuran *plug*.
  - Kemunculan pada pola *bubbly* campuran gliserin 0 % terlihat intensitas pola *bubbly* terlihat hingga kecepatan superfisial  $J_G$  1,941 m/s. Hal ini dikarenakan pengaruh sudut kemiringan yang menyebabkan pembentukan *bubbly* yang terjadi semakin banyak jika kecepatan superfisial gas ditingkatkan. Dan disebabkan kecilnya viskositas sehingga aliran *bubbly* mudah untuk terbentuk. Sedangkan pada campuran gliserin 10% terlihat hingga kecepatan superfisial gas atau  $J_G$  0,423 m/s. Hal ini disebabkan ada campuran pada gliserin sehingga cairan yang melewati seksi uji sedikit lebih kental. Berbeda dengan yang campuran yang sebelumnya. Pada campuran gliserin 20% pola aliran *bubbly* terbentuk hingga  $J_G$  0,871 dan  $J_L$  4,935 m/s. Sedangkan pada campuran gliserin 30% pola aliran *bubbly* terjadi hingga  $J_G$  0,871 m/s dan kecepatan superfisial  $J_L$  2,297 m/s dan  $J_L$  4,935 m/s.

3. Hasil perbandingan peta pola aliran terhadap perubahan viskositas dengan penelitian yang terdahulu, terlihat hasil yang tidak jauh berbeda dan pada pergeseran garis transisi terlihat konsisten.

## Daftar Pustaka

Adiwibowo, P. H., (2010). Karakteristik flow patern pada aliran dua fase gas-cairan melewati pipa vertikal. *Jurnal Teknik Industri*, 11(2)(Agustus), 117–122.

Apip badarudin, Indarto, Deendarlianto, Hermawan, Aji Saka, M.Fikri Haykal Syarif, A. W. (2014). Irwns 2014. *Jurusan Teknik Refrigerasi Dan Tata Udara*, 42–46.

Hanafizadeh, P., Saidi, M. H., Nouri Gheimasi, A., & Ghanbarzadeh, S. (2011). Experimental investigation of air-water, two-phase flow regimes in vertical mini pipe. *Scientia Iranica*, 18(4 B), 923–929.

Kawahara, A. (2002). kawahara at al, 2002, pattern, void fraction, pressure drop of Two-phase flow in micro-channels.pdf. *International Journal of Multiphase Flow*, 28, 1411–1435.

Korawan, A. D. (2015). Pola Aliran Dua Fase (Air+Udara) Pada Pipa Horisontal Dengan Variasi Kecepatan Superfisial Air. *Mekanika*, 14, 57–63.

Serizawa, A., Feng, Z., & Kawara, Z. (2002). Two-phase flow in microchannels. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 26(6–7), 703–714.

Singh, P. R., Jimenez, H., Katti, K. V., Volkert, W. A., & Barnes, C. L. (1994). Transition Metal Chemistry of Main Group Hydrazides. Part 3: Carboxylate Appended Phosphorus Hydrazides as Novel Functionalized Chelating Systems. Synthesis and Characterization of New Cyclometallaphosphohydrazides. X-ray Structure of a Palladium(II) Repr. *Inorganic Chemistry*, 33(4), 736–741.

Sudarja, Jayadi, F., Indarto, Deendarlianto, & Widyaparaga, A. (2018). The effect of liquid viscosity on the gas-liquid two-phase flow pattern in horizontal mini-channel. *AIP Conference Proceedings*, 2001.

Sukamta, Indarto, I., Purnomo, P., & Rohmat, T. A. (2010). Identifikasi Pola Aliran Dua Fase Uap-Kondensat Berdasarkan Pengukuran Beda Tekanan Pada Pipa Horisontal. *Semesta Teknika*, 13(1), 83–94.

Triplett, K. A., Ghiaasiaan, S. M., & Sadowski, D. L. (1999). Gas liquid two-phase flow in microchannels Part I: two-phase flow patterns. *International Journal of Multiphase Flow*, 25, 377–394.