

INVESTIGASI POLA ALIRAN DUA FASE UDARA AIR DAN GLISERIN (0-30%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 5° TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Ade Yoga Pratama^{1,a}, Sukamta^{2,b}, Sudarja^{3,c}

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

[1adeyogapratama3@gmail.com](mailto:adeyogapratama3@gmail.com), [2msukamta@gmail.com](mailto:msukamta@gmail.com), [3sudarja_msn@yahoo.com](mailto:sudarja_msn@yahoo.com)

Abstract

Two-phase flow is a flow which consists of the combined fluid liquid and gas, for deployment in the industrialized world the more used and grown rapidly. Investigation of two-phase flow in capillary pipes becomes very important as used in various applications such as x-ray, heat exchanger, geothermal piping systems, boilers, oil and gas, in addition to that contained on the system especially in biomedicine the cardiovascular system is the circulation is made up of the heart, blood vessels and the blood that circulates throughout the body. Along with the widespread application of flow added two more in depth research required phase again by performing a variety of methods to find out its effect on characteristics of two-phase flow.

The research was carried out using experimental methods, with an inside diameter of pipe of 1.6 mm and 130 mm Long test section with slope 5 ° against the horizontal position. The working fluid used air and water mixture (akuades) with Glycerin with concentrations of 0%, 10%, 20%, 30% for each blend, with varying the values of superficial water and gas velocity in the range of $J_L = 0.033 - 4.935$ m/s and $J_G = 0.025 - 66.3$ m/s. Research done by the method of visualization using high-speed cameras.

Come by five types of flow pattern: bubbly, plug, slug annular, annular and churn. The plug flow pattern dominate in this study, changes in viscosity effect seen on the flow of bubbly flow and plug as well as on the transition flow pattern maps. Flow pattern formed later in justification and are mapped based on superficial velocity variation. Map of the flow pattern is also compared to the results of the research.

Keywords: flow pattern, flow pattern maps, viscosity, superficial velocity, two phase

1. Pendahuluan

Aliran dua fasa adalah bentuk yang paling sederhana dari aliran multifasa. Pada umumnya aliran dua fasa sering dijumpai dalam sistem perpipaan minyak dan gas, pendingin perangkat elektronik, reaktor nuklir, *geothermal* dan disamping itu terdapat pada biomedik khususnya pada system kardiovaskular. Untuk mengetahui aliran ini biasanya digunakan dua komponen yang memiliki substansi kimia yang berbeda, seperti uap-air, aliran udara-air atau bisa juga dengan campuran air dan gliserin.

Aliran dua fasa berkembang sangat pesat karena mudah di variasaikan dengan bermacam macam yang dapat digolongkan. Berdasarkan kedudukan saluran, menurut arah alirannya, menurut jenis ukuran salurannya dan berdasarkan bentuknya. Contoh diatas menunjukkan studi mengenai aliran dua fasa dapat dikembangkan lebih luas lagi. Hal yang sangat penting untuk dipelajari dari suatu aliran, baik satu fasa maupun dua fasa adalah pola aliran. Pola aliran dan peta aliran menjadi poin penting dalam studi kasus aliran dua fasa, misal pada fasa cair-gas. Perilaku campuran antara cair-gas mengandung banyak hubungan yang saling terkait yang diperlukan dalam penyelesaian persamaan konservasi dua fasa, yang ini bergantung pada seberapa jauh identifikasi pola aliran bisa dilakukan.

Para peneliti terdahulu mengenai aliran dua fasa banyak membahas aliran dua fasa yang konvensional, sementara untuk aliran dua fasa pada saluran berukuran mini (*minichannel*) dan saluran berukuran mikro (*microchannel*) masih sedikit dilakukan penelitian pada bidang tersebut. Chung dan Kawaji (2004) mengidentifikasi fenomena yang membedakan *microchannel* dari *minichannel*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan gas nitrogen dan air pada saluran berdiameter 530, 250, 100, dan 50 μm . Pada pipa berdiameter 530 μm dan 250 μm , karakteristik aliran dua fasa (peta pola aliran, fraksi hampa, *pressure drop*) mirip dengan karakteristik aliran pada *minichannel* (diameter $\sim 1\text{mm}$). Pada pipa berdiameter 100 dan 50 μm , karakteristik aliran menyimpang dari karakteristik pada *minichannel*, yaitu terjadinya dominasi dari aliran *slug*. Pola aliran *bubbly*, *churn*, *slug-annular*, dan *annular* pada saluran dengan $\text{DH} \leq 100 \mu\text{m}$ disebabkan karena viskositas dan tegangan permukaan yang lebih besar. Jadi, jelas bahwa pada interval diameter pipa yang diinvestigasi, diameter memberikan pengaruh pada karakteristik aliran dua fasa.

Untuk mengetahui perilaku pola aliran *slug*, *bubbly*, *churn*, *annular*, dan *slug annular*, maka dapat dilakukan analisis aliran dengan metode visualisasi yaitu dengan kamera berkecepatan tinggi. Pada prinsipnya metode ini didasarkan atas analisis gambar secara mendalam dengan beberapa tahapan untuk mendapatkan data data yang diinginkan. Salah satu keunggulan dari metode ini memungkinkan untuk menganalisis udara dengan jumlah banyak dengan tingkat akurasi yang baik dan tidak merusak atau mengganggu aliran. Dari uraian diatas, terbatasnya penelitian tentang pola aliran. Dengan demikian, maka perlu dilakukan penelitian tentang studi pola aliran untuk udara air dan campuran gliserin (0-30%) pada pipa kapiler dengan kemiringan 5° terhadap posisi horisontal.

Dalam penelitian aliran dua fase pada saluran mini dan mikro pengaruh dari gravitasi diabaikan, dianggap tidak berpengaruh pada aliran. Pola aliran yang terbentuk hanya dipengaruhi oleh viskositas, kecepatan superfisial cair dan gas, tegangan permukaan fluida cair. Peta pola aliran yang dihasilkan pada pipa mini dan mikro akan berbeda dengan pola dan peta pola aliran pada pipa konvensional. Pola dan peta pola aliran menjadi parameter penting untuk menunjukkan karakteristik dari aliran dua fase.

2. Kajian Pustaka

Triplett dkk, (1999) Melakukan penelitian mengenai aliran dua fase pada pipa mini dengan ukuran diameter 1,097 dan 1,45 mm. Media yang digunakan fluida cair (air) sedangkan untuk fluida gasnya menggunakan (udara). Hasil menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh permukaan lebih dominan sehingga gravitasi yang muncul tidak mempengaruhi karakteristik dari aliran pada pipa mini. Kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan dilakukan variasi untuk mendapatkan berbagai jenis data. Variasi yang digunakan adalah sebagai berikut, kecepatan superfisial gas dimulai dari 0,02 m/s sampai 80 m/s sedangkan untuk kecepatan superfisial cairan 0,02 m/s sampai 8 m/s. pola aliran yang berhasil di amati pada saat penelitian ini adalah *bubbly*, *slug*, *churn slug-annular*, dan *annular*, semua jenis aliran ini muncul pada semua jenis pipa yang di gunakan yaitu pipa sirkular berdiameter 1,097 mm dan pipa semi-triangular berdiameter 1,45 mm.

Kawahara dkk, (2002) melakukan penelitian aliran dua fasa nitrogen-air yang terionisasi menggunakan sirkulasi berdiameter 100 μm yang terbuat dari *fused silica* dengan kecepatan superfisial gas 0,1-60 m/s dan kecepatan superfisial air 0,02-4 m/s, metode yang digunakan selain dengan visualisasi Kawahara dkk (2002) menggunakan metode probabilitas. Hal ini dikarenakan dalam suatu kondisi aliran yang telah ditetapkan, beberapa pola aliran muncul secara bergantian pada *flow rate* air rendah. Dari penelitian ini teridentifikasi lima pola aliran utama yaitu aliran *gas core with smooth-thin liquid film*, *liquid alone (liquid slug)*, aliran *gas core with smooth-thick liquid film*, aliran *gas core with a ring-shaped liquid film*, dan aliran *gas core with deformed interface*.

Menurut Martubi dkk, (2002) melakukan penelitian mengenai pola aliran dan gradien tekanan pada aliran gas-cair berlawanan arah vertical dengan cairan viskositas tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapat informasi tentang macam pola aliran dan gradien tekanan pada aliran dua fasa (gas-cair). Metode yang dilakukan pada penelitian ini dengan seksi uji terbuat dari *plexyglass* berpenampang lingkaran dengan diameter dalam 24 mm, fluida cairnya berupa larutan *Carbonat methyl catalyst* (CMC) yang mempunyai viskositas 144,03 cst. (169 kali viskositas air) fluida gas berupa udara dari kompresor dengan tekanan $\pm 1 \text{ kg/Cm}^3$ dan temperature 25-30°C. Pengambilan data eksperimen dilakukan dengan dua cara, yaitu pada debit cairan konstan udara berubah, dan debit udara konstan cairan berubah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola aliran yang terjadi meliputi aliran kantung udara, aliran acak, aliran cincin, kabut tetes, sampai terjadi *flooding*.

Adiwibowo dkk, (2010) melakukan penelitian tentang saluran pipa vertical yang akan sering dipakai untuk penghubung pipa. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan pipa vertikal terhadap karakteristik *flow pattern* pada aliran dua fasa gas-cairan. Penelitian yang dilakukan secara eksperimental menggunakan pipa transparan dengan diameter dalam 36 mm pada pipa vertikal serta air sebagai fluida kerja cairan dan udara sebagai fluida kerja gas. Variasi yang dilakukan adalah kecepatan superficial cairan antara dari 0,3-0,5 m/s dan Δp adalah 0,05-0,2 m/s. Visualisasi *flow pattern* pada pipa vertikal menggunakan kamera digital. Dari hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan bahwa aliran dua fasa gas cairan yang melewati pipa vertikal terjadi perubahan karakteristik *flow pattern* yang dipengaruhi oleh kecepatan superficial cairan dan kualitas volumetric gas. Pada setiap kecepatan superficial cairan untuk kualitas volumetric gas menengah (medium) terjadi *homogeneous bubbly flow* dan *dense bubbly flow* untuk kisaran kualitas volumetric gas yang tinggi.

Santoso dkk, (2010) mengkaji pola aliran *plug* dan *slug* aliran dua fasa air-udara beserta parameter-parameternya (kecepatan *unit cell*, panjang *unit cell*, frekuensi slug, dan kecepatan gelembung). Pengukuran parameter-parameter dalam aliran *plug* dan *slug* dilakukan dengan menggunakan *high speed video camera*. Penelitian dilakukan dengan kecepatan superfisial air 0,14 m/s – 1,95m/s dan kecepatan superfisial udara 0,52 m/s - 3,65 m/s. penelitian dilakukan pada pipa horizontal dengan diameter dalam 24 mm. Pola aliran yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah pola aliran kantung (*plug*) sumbat liquid (*slug*) dan transisinya.

Penelitian yang dilakukan oleh Badarudin dkk, (2014) observasi pola aliran dua fasa air udara berlawanan arah pada pipa kompleks yang dimana bertujuan mengidentifikasi secara visual pola aliran dua fasa air udara berlawanan arah dalam pipa kompleks. Adapun hasil penelitian menunjukkan bahwa pola aliran yang teridentifikasi pada aliran dua fasa air udara berlawanan arah pada pipa kompleks ini meliputi pola aliran *stratified flow*, *wavy flow*, dan *slug flow*.

Penelitian yang dilakukan Sudarja dkk, (2015) tentang aliran dua fase menggunakan pipa dengan diameter 1,6 mm yang dipasang secara horizontal. Media yang digunakan pada penelitian ini adalah udara untuk fase gasnya sedangkan untuk fase cair digunakan air dengan campuran gliserin dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh gliserin terhadap terbentuknya pola aliran dalam penelitian aliran dua fase. Untuk menentukan peta pola aliran pada penelitian ini adalah dengan menggunakan parameter kecepatan superfisial. Adapun nilai kecepatan superfisial gas pada penelitian ini adalah 0,008 – 64,42 m/s, sedangkan untuk kecepatan superfisial cairannya adalah 0,002 – 3,09 m/s. Pola yang teramati *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *churn*, *wavy annular* dan *annular*.

Wibowo dkk, (2015) melakukan penelitian tentang penentuan sub-sub pola aliran *stratified* air-udara pada pipa horizontal menggunakan pengukuran tekanan, Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah kaji eksperimental visualisasi dan pengukuran fluktuasi beda tekanan. Adapun hasil penelitian pola aliran *stratified* secara detail subdaerah-subdaerah berdasarkan struktur antar muka, peneliti membagi aliran *stratified* menjadi dua yaitu *stratified smooth* dan *stratified wavy*, dimana *stratified wavy* dapat dibagi menjadi sub-sub daerah yaitu *two dimensional wave*, *roll wave* dan *atomization*.

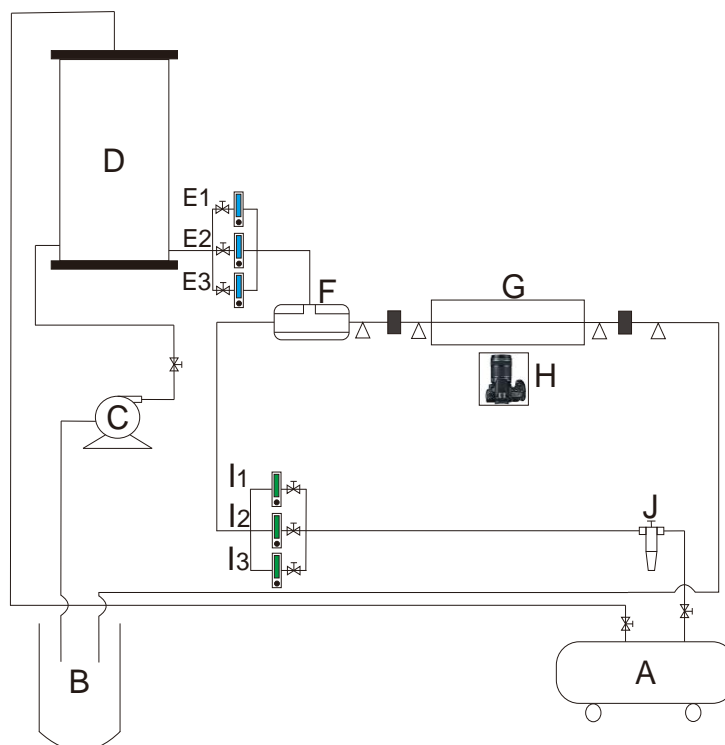
Anutup (2016) melakukan penelitian tentang studi visualisasi pola aliran dan peta aliran dua fasa udara aquades gliserin pada saluran mini horizontal berukuran 1,6 mm. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui karakteristik aliran dua fasa dengan cara mengamati pola aliran dan peta pola aliran yang terbentuk pada saluran mini dan pengaruh perubahan nilai viskositas dan tegangan permukaan. Metode yang digunakan

dalam penelitian ini adalah sirkulasi horizontal berukuran 1,6 mm dengan campuran air dan gliserin- udara dengan variasi larutan 20%, 40%, dan 60%. Dari penelitian ini dapat kita disimpulkan bahwa memvariasikan nilai kecepatan superfisial gas J_G dan kecepatan superfisial air J_L pada variasi $J_G = 0,066-66,2$ m/s dan $J_L = 0,033-4,193$ m/s didapatkan lima pola utama, yaitu *annular*, *bubbly*, *churn*, *slug*, dan *slug annular*.

Studi pola aliran dua fase udara-campuran air dan butanol pada saluran mini horisontal telah dilakukan. Metode eksperimental digunakan untuk mengetahui pengaruh tegangan permukaan terhadap karakteristik aliran dua fase, meliputi pola aliran yang terbentuk dan peta pola aliran yang dihasilkan. Eksperimen dilakukan pada pipa kapiler horisontal dengan diameter 1,6 mm. Fluida kerja gas yang digunakan merupakan udara, dan campuran air-butanol dengan konsentrasi (2%, 4%, dan 6%). Kecepatan superfisial gas 0,066-66,2 m/s, dan nilai kecepatan superfisial fluida 0,033-4,193 m/s. Visualisasi menggunakan kamera video berkecepatan tinggi. Dari penelitian ini diperoleh hasil berupa pola aliran yang dapat diamati meliputi pola aliran *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*. Tegangan permukaan berefek pada daerah transisi pola aliran *bubbly-plug*, *plug-slug annular*, dan *plug-churn*. (Dian, 2016)

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.



Keterangan:

- A. Kompresor
- B. Tempat penampung campuran air dan gliserin
- C. Pompa air
- D. Bejana bertekanan
- E. *Flowmeter* cair
- F. *Mixer*
- G. Seksi uji
- H. Kamera
- I. *Flowmeter* udara
- J. Filter dan regulator

Gambar 1. Skema instalasi penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

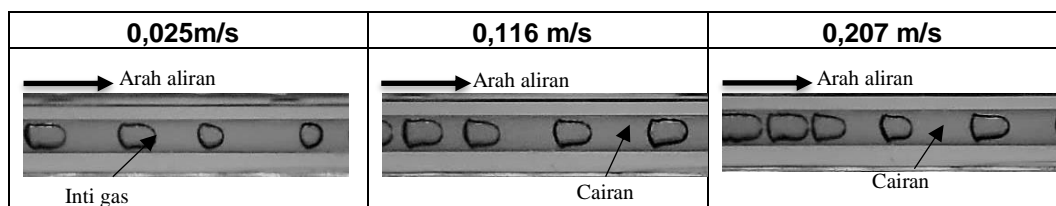
Hasil dari penelitian aliran dua fase pada pipa dengan ukuran diameter 1,6 mm yang terpasang dengan sudut 5° dengan campuran gliserin 0%, 10%, 20%, dan 30% meliputi : pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran dari masing-masing campuran serta perbandingan peta pola aliran dengan peneliti terdahulu.

4.1 Pola aliran *bubbly*

Pola aliran *bubbly* adalah pola aliran dengan gelembung yang terdapat pada dominasi cairan. Aliran *bubbly* terbentuk pada (J_G) yang kecil yaitu 0,025 m/s - 0,423 m/s, sedangkan nilai (J_L) yang besar dengan kisaran 0,879 m/s - 4,935 m/s). Dengan debit air yang tinggi maka cairan memenuhi ruang pada *mixer* sebelum mengalir ke seksi uji sementara itu udara akan tertahan disisi bagian atas *mixer*.

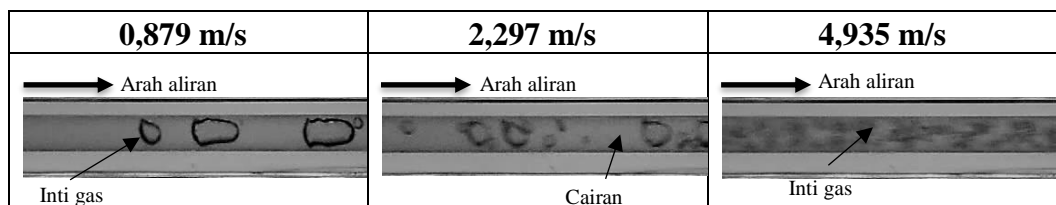
Perbandingan *bubbly* pengaruh kecepatan superfisial air pada konsentrasi gliserin 0% ketika nilai J_L dinaikkan terlihat *bubbly* memiliki bentuk yang semakin kecil dan tidak beraturan. Debit fluida yang semakin membesar mengakibatkan fluida sulit ditembus oleh udara, sehingga gelembung menumpuk pada *mixer*. Ketika udara yang terkumpul sudah makin banyak dan kuat untuk mendorong fluida cair sehingga aliran *plug* muncul terlebih dahulu yang diikuti aliran *bubbly* yang banyak.

Tabel 4.1 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai $J_L = 0,879$ tetap m/s dan nilai J_G bervariasi



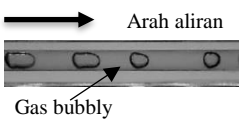
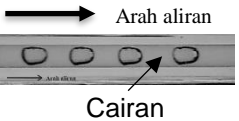
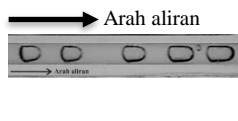
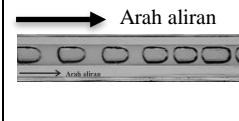
Pengaruh nilai J_G yang dinaikkan terhadap pola *bubbly* adalah pola yang teramati memiliki kecepatan yang semakin tinggi. Berbeda dengan kecepatan superfisial fluida cair yang dinaikkan, ketika nilai kecepatan superfisial gas yang dinaikkan jarak antar *bubbly* memiliki jarak yang semakin rapat. Dari bentuk *bubbly* hampir tidak ada perubahan ketika nilai J_G yang semakin tinggi.

Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai 0,207 m/s tetap dan nilai J_L bervariasi



Ketika nilai $J_L = 4,935$ m/s aliran *bubbly* semakin sulit diamati karena aliran *bubbly* semakin acak dan memiliki kecepatan yang cukup tinggi. Pola aliran *bubbly* yang semula memiliki bentuk bulat mulai berubah menjadi acak dan tidak beraturan. Aliran *bubbly* memiliki jarak yang semakin dekat serta kemunculan *bubbly* semakin banyak yang didahului dengan kemunculan *plug*. Pada saat melakukan pengambilan video dengan ditingkatkannya nilai J_L membuat pola *bubbly* sekilas terlihat seperti aliran *churn*.

Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *bubbly* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,879$ m/s

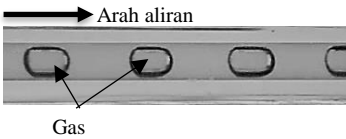
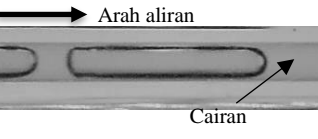
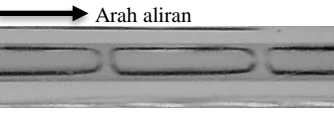
GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			

Nilai J_G yang dinaikkan hingga mendekati garis transisi dengan pola aliran *churn* mengakibatkan aliran *bubbly* semakin acak hampir menyerupai *churn* bahkan ketika kemunculan *plug* sebelum munculnya *bubbly* terlihat aliran *plug* yang memiliki ekor hancur pada proses pengambilan gambar yang dilakukan. Nilai J_G yang semakin besar mengakibatkan pola aliran *bubble* menyerupai aliran *churn*. Dengan nilai J_G yang dinaikkan pada nilai J_L yang tetap akan membuat aliran *bubbly* semakin cepat.

4.2 Pola aliran *plug*

Pola aliran *plug* mulai terbentuk pada kecepatan superfisial gas (J_G) = 0,025 m/s sedangkan kecepatan superfisial cair (J_L) = 0,033 m/s, Aliran *plug* bergerak dengan kecepatan konsisten dengan kondisi tertentu. Kemunculan aliran *plug* pada kecepatan superfisial fluida cair dan fluida gas yang sama, tidak ada perbedaan aliran *plug* pada konsentrasi yang berbeda.

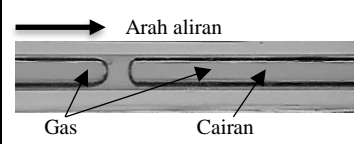
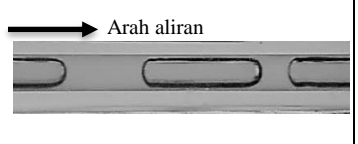
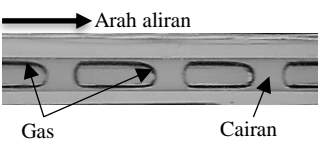
Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 10%, nilai $J_L = 0,535$ m/s tetap dan nilai J_G bervariasi

0,116 m/s	0,207 m/s	0,423 m/s
		

Pola aliran *plug* yang berhasil diamati pada nilai $J_L = 0,535$ m/s dengan menggunakan variasi nilai J_G yang berbeda, pada konsentrasi gliserin 10% memiliki bentuk hampir sama dengan konsentrasi gliserin yang lain, namun ketika nilai J_G semakin besar jarak antar *plug* semakin rapat atau semakin menempel. Semakin besar nilai kecepatan nilai superfisial gas mengakibatkan ruang pemisah antara *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.

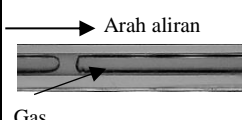
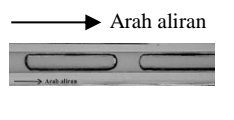
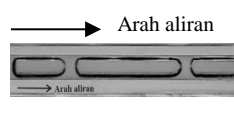
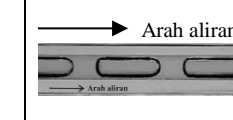
Pengaruh kecepatan superfisial gas terlihat mempengaruhi bentuk, ukuran dan jarak antar *plug* yang terbentuk, semakin besar kecepatan superfisial gasnya mengakibatkan *plug* semakin memanjang, serta semakin rapatnya antar tiap pola aliran *plug* yang dihasilkan.

Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 10%, nilai $J_G=0,539$ m/s tetap dan nilai J_L bervariasi

0,033 m/s	0,091 m/s	0,149 m/s
		

Ketika kecepatan superficial cairan dinaikkan panjang dari pemisah antar *plug* semakin panjang, disebabkan oleh udara yang tertekan oleh air yang mengalami peningkatan. Dengan ini otomatis aliran *plug* yang terbentuk semakin pendek. menunjukkan bahwa dengan nilai J_G yang tetap dan J_L yang divariasikan meningkat terlihat pola yang dihasilkan semakin pendek.

Tabel 4.6 Perbandingan pola aliran *plug* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 0,423$ m/s dan $J_L = 0,232$ m/s

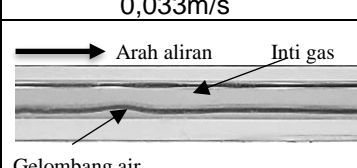
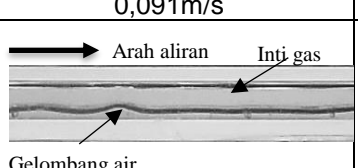
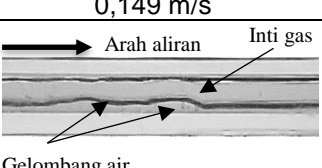
GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			

Semakin besar nilai konsentrasi gliserin pada investigasi kali ini, menyebabkan semakin sulitnya udara untuk menerobos masuk suatu aliran yang didalamnya terdapat fluida cair. Dari hasil pengamatan bentuk *plug* tidak jauh berbeda pada semua konsentrasi gliserin.

4.3 Pola aliran *slug annular*

Aliran *slug annular* mulai teramati pada $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s. Ketika nilai J_G dinaikkan mencapai $J_G = 22,6$ m/s membuat aliran *slug annular* menyerupai aliran *annular*. Kemunculan *slug annular* mulai semakin berkurang dengan semakin kecilnya gelombang akibat semakin besarnya J_G , yang membuat aliran air yang berada disisi atas dan bawah mengalami tekanan akibat besarnya aliran gas. Akibat dari kejadian ini pola aliran *slug annular* mulai terlihat perubahan menyerupai aliran *annular*.

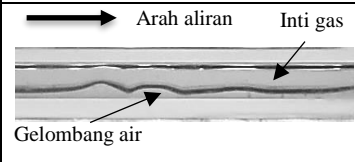
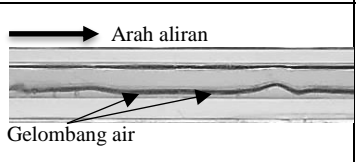
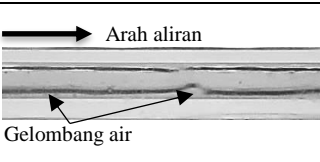
Tabel 4.7 Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 20%, nilai yaitu $J_G = 7$ m/s tetap dan nilai J_L bervariasi

0,033m/s	0,091m/s	0,149 m/s
		

Terlihat perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 20%, serta memvariasikan nilai J_L untuk mengetahui pengaruh kecepatan superficial air terhadap pola aliran *slug annular*. Variasi yang digunakan adalah 0,033 m/s, 0,091 m/s, dan 0,149 m/s. Perbedaan yang terjadi dengan meningkatnya nilai J_L tidak begitu jelas terlihat, tapi semakin besar nilai $J_L = 0,149$ m/s terlihat bahwa aliran *slug annular*, hampir putus dan akan membentuk aliran *plug*. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya

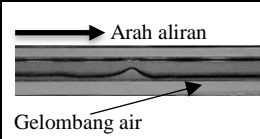
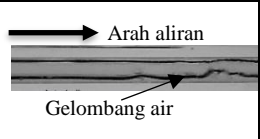
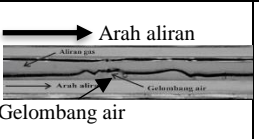
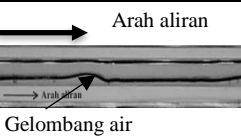
volume air sehingga aliran udara mulai terdorong atau tercekik sehingga terlihat pola *slug annular* yang hampir putus menyerupai aliran *plug*.

Tabel 4.8 Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 20%, nilai $J_L = 0,149$ m/s tetap dan nilai J_G bervariasi

4,238 m/s	7,00 m/s	9,62 m/s
 <p>Arah aliran</p> <p>Inti gas</p> <p>Gelombang air</p>	 <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>	 <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>

Perbandingan kecepatan superficial gas dengan memvariasikan nilai J_G , pada konsentrasi 20%. Sama seperti pengaruh nilai J_L kenaikan nilai J_G tidak begitu jelas terlihat perbedaan yang terjadi akibat nilai J_G yang berubah. Nilai J_G yang di variasikan adalah 4,238 m/s, 7,00 m/s, dan 9,62 m/s, terlihat sedikit perbedaan pada jumlah gelombang-gelombang air yang jauh lebih banyak, tetapi jauh lebih kecil ketimbang pada J_G yang lebih kecil. 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 memotong aliran 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
 <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>	 <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>	 <p>Arah aliran</p> <p>Aliran gas</p> <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>	 <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>

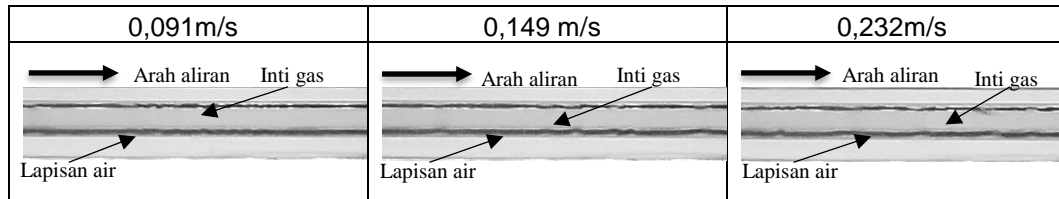
Dari pengamatan yang dilakukan terhadap pola aliran *slug annular* tidak terjadi perbedaan yang signifikan dari pola aliran ini, hanya saja ketebalan lapisan air bagian bawah jauh lebih tebal dan jauh lebih bergelombang dibandingkan dengan lapisan atas saluran. Ketika viskositas dinaikkan ketebalan lapisan air yang timbul akan semakin menebal pula. Perbedaan konsentrasi gliserin pada pola *slug annular*, ketika viskositas dinaikkan menunjukkan gas inti yang berada di bagian tengah tidak tercekik, hal ini diakibatkan karena cairan memiliki viskositas besar sehingga tidak mudah digerakkan oleh udara. Perbedaan konsentrasi gliserin pada pola *slug annular* tidak begitu terlihat secara jelas pengaruhnya, tidak ada perbedaan bentuk yang bisa diamati secara detail.

4.4 Pola Aliran *Annular*

Terbentuknya pola aliran *annular* bermula 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 signifikan perbedaannya. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan seksama aliran *annular* memiliki gelombang-gelombang kecil yang bergerak cepat.

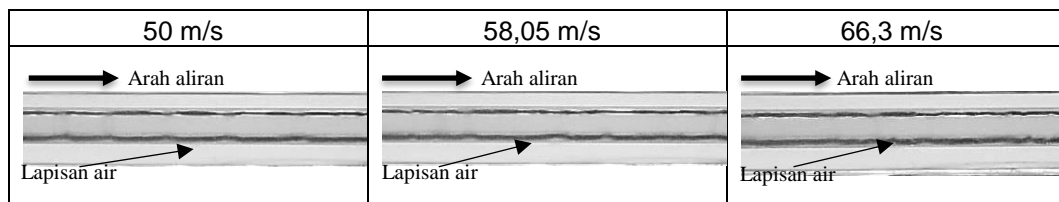
Perbandingan pola aliran *annular* terlihat pada J_L 0,149 m/s riak air yang muncul pada sisi atas dan bawah jauh lebih terlihat dari pada J_L 0,091 m/s hal ini disebabkan aliran air yang mengalir pada bagian atas dan bawah memiliki pertambahan debit aliran sehingga air yang terdorong udara semakin banyak. Ketika J_L berada pada 0,232 m/s pola aliran *churn* semakin terlihat dibagian aliran *annular* yang ditandai dengan adanya bayangan hitam. Dengan meningkatnya J_L juga mengakibatkan kecepatan riak air bagian atas maupun bawah terlihat lebih cepat.

Tabel 4.10 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 30%, nilai $J_G = 50,00$ m/s tetap, dan nilai J_L bervariasi



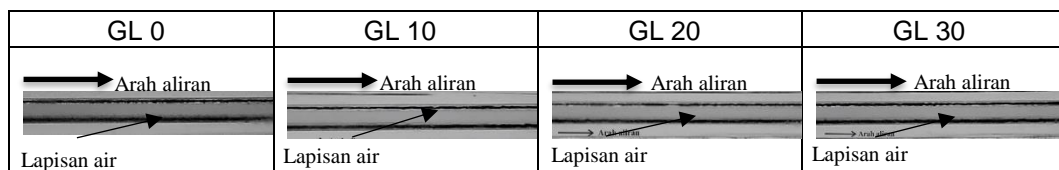
Perbandingan pola aliran *annular* pada konsentrasi 30% dengan J_L tetap pada 0,091 m/s. Terlihat tidak terlalu berbeda pada semua pola aliran yang ditampilkan. Perbedaan yang terjadi terlihat pada bagian sisi atas dan bawah aliran yang mengalami penipisan pada riak-riak air yang terjadi pada pola *annular*, hal ini disebabkan pada J_L 0,091 m/s dan dengan menaikkan debit aliran gas sehingga aliran gas mendorong aliran air yang berada pada kedua sisi sehingga aliran air atau riak air di kedua sisi tidak jelas terlihat. Semakin kecepatan superficial gas dinaikkan mengakibatkan aliran *annular* jauh lebih tenang ketika diamati ketika proses pengambilan video.

Tabel 4.11 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 30%, nilai $J_L = 0,091$ m/s tetap dan nilai J_G bervariasi



Perbandingan pola aliran *annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 66,03$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s. Pengaruh kenaikan viskositas pada pola aliran *annular* terlihat bahwa semakin besarnya viskositas fluida cair mengakibatkan riak air yang timbul semakin berkurang. Ketika pengambilan video terlihat kecepatan aliran lebih lambat terjadi ketika viskositas fluida cair jauh lebih besar, perbedaan yang jelas antara 0% dan 30% kecepatan aliran jauh menurun.

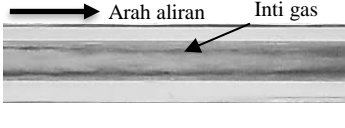
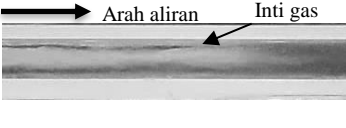
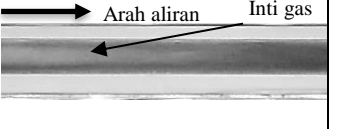
Tabel 4.12 Perbandingan pola aliran *annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 66,03$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s



4.5 Pola aliran *churn*

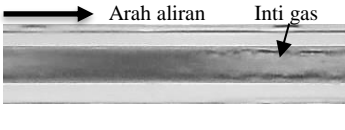
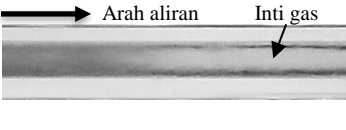
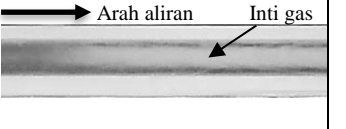
Terbentuknya pola aliran *churn* ketika kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan sama - sama tinggi. Ketika nilai J_L besar seharusnya aliran yang terbentuk adalah aliran *plug*, tetapi karena nilai J_G yang juga besar mengakibatkan air terdispersi menjadi kecil, kecepatan alirannya pun sangat cepat sehingga pola yang teramati ketika melakukan pengambilan video hanya terlihat bayangan hitam pada ujung inti gas yang diikuti aliran fluida yang sangat cepat.

Tabel 4.13 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 20%, nilai $J_G = 22,6$ m/s tetap dan nilai J_L bervariasi

0,7 m/s	2,297 m/s	4,935 m/s
		

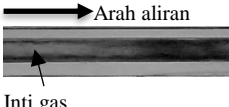
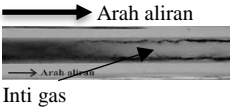
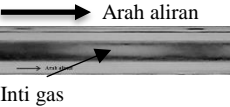
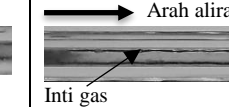
perbandingan pola aliran *churn* ketika nilai J_L yang di variasikan. Terlihat perbedaan ketika $J_L = 4,935$ m/s, bayangan hitam yang terlihat pada pola aliran *churn* jauh lebih banyak dari pada ketika J_L yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena debit air yang besar mengakibatkan udara terdispersi 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 20%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 2,297$ m/s dan nilai J_G bervariasi

22,6 m/s	50,0 m/s	58,05 m/s
		

Perbandingan pola aliran *churn* dengan memvariasikan kecepatan superfisial udara terlihat dengan J_L tetap yaitu 2,297 m/s. Semakin meningkatnya nilai J_G membuat aliran gas lebih dominan, terlihat ketika J_G 58,05 m/s bayangan hitam terlihat tidak terlalu banyak jika dibandingkan J_G 22,6. Bayangan hitam yang berkurang 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 $J_G = 58,05$ m/s dan $J_L = 2,279$ m/s

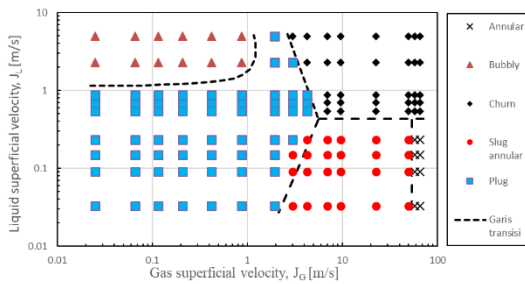
GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			

Kemunculan pola aliran *churn* pada konsentrasi gliserin hampir selalu muncul pada kordinat yang sama, pola aliran *churn* terlihat seperti plug yang memiliki ekor acak serta kemudian disertai aliran bayangan hitam yang didalamnya adalah cairan. Aliran *churn*

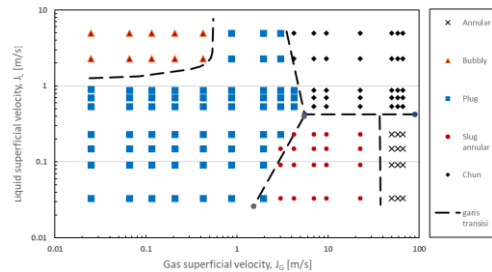
muncul pertama kali berada pada kecepatan superfisial fluida cair (J_L) =2,279 m/s sedangkan fluida gas (J_G) =1,941 m/s perbandingan pola aliran *churn* pada nilai (J_G) =58,05 m/s dan (J_L) 2,279 m/s dengan tiap konsentrasi viskositas menunjukan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi gliserin maka makin berkurangnya bayangan hitam pada pipa aliran. Jadi dapat disimpulkan pada konsentrasi gliserin yang besar fluida cair akan semakin sulit *terdispersi* dan menghasilkan bayangan hitam lebih sedikit.

4.6 Peta pola aliran

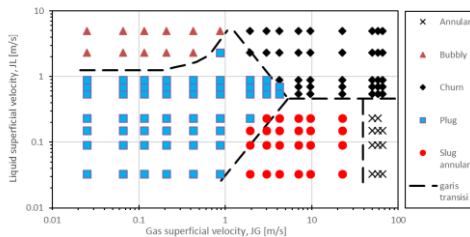
Pola aliran yang telah dijustifikasi kemudian dipetakan berdasarkan variasi kecepatan superfisialnya. Pada peta pola aliran tersebut, absis menunjukan kecepatan superfisial fluida gas (J_G) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan ordinat adalah kecepatan superfisial fluida cair (J_L) dengan nilai minimum 0,01 dan nilai maksimumnya 10, nilai pada kedua sumbu tersebut dinyatakan secara logaritmik. Pada peta pola aliran yang telah didapatkan terdapat pula garis transisi antar pola yang dimana garis transisi ini menunjukan kordinat manakah aliran yang berubah antar pola aliran satu dengan pola alirannya.



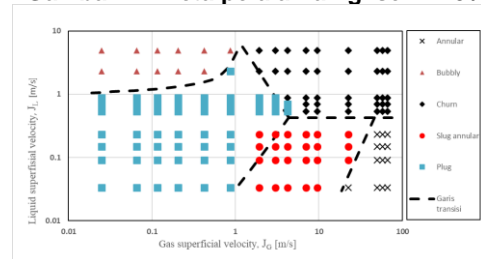
Gambar 4.1 Peta pola aliran gliserin 0%



Gambar 4.2 Peta pola aliran gliserin 10%

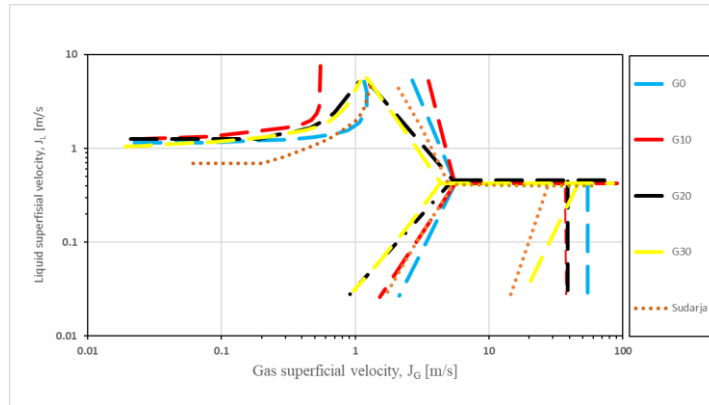


Gambar 4.3 Peta pola aliran gliserin 20%

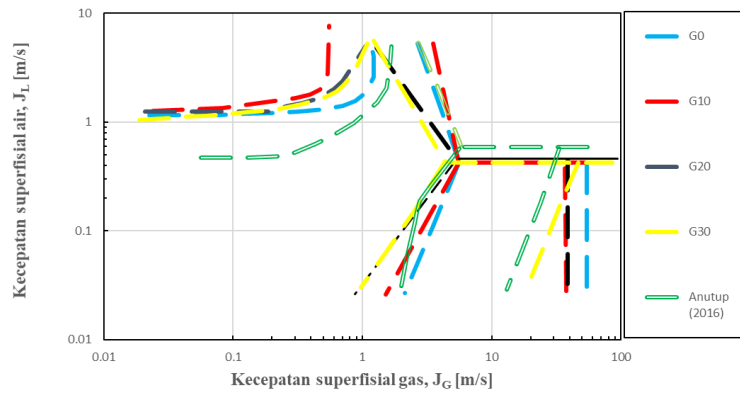


Gambar 4.4 Peta pola aliran gliserin 30%

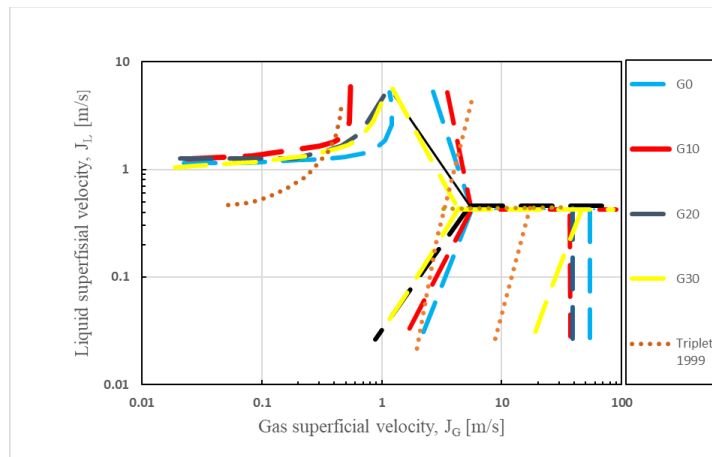
Meningkatnya viskositas terhadap persebaran pola aliran pada peta pola aliran terlihat perbedaan luas garis transisi yang terjadi antar tiap peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin yang berbeda. Perbandingan peta pola aliran (0%, 10%, 20%, 30%). Daerah transisi kemunculan *bubbly* pada konsentrasi gliserin 0% terlihat memiliki luas yang lebih besar daripada konsentrasi 10% dan 20%, namun hampir memiliki kesamaan luas dengan konsentrasi 30%. Perbedaan yang terlihat pada transisi kemunculan aliran *churn*, pada konsentrasi 0% dan 10% memiliki perbedaan yang menunjukan kemunculan *churn* jauh lebih sedikit dari konsentrasi yang lain. Pada garis transisi antara *plug/slug annular* menunjukan jumlah *plug* yang jauh lebih banyak pada penelitian 10%, dan jumlah aliran *slug annular* yang pada penelitian ini sama rata tidak banyak perubahan pada sitian konsentrasi. Garis lurus pada transisi antara *slug annular/annular* terlihat lurus pada konsentrasi 0%, 10%, dan 20% sedangkan pada 30% mengalami kemiringan yang menandakan kenaikan viskositas pada penelitian ini mengakibatkan kemunculan aliran *annular* lebih awal muncul ketika viskositas mengalami kenaikan.



Perbandingan peta pola aliran 0-30 dengan garis transisi Sudarja dkk, (2014)



Perbandingan peta pola aliran 0-30 dengan garis transisi Anutup (2016)



Perbandingan peta pola aliran 0-30 dengan garis transisi Triplett dkk, (1999)

5. Kesimpulan

1. Pola aliran yang terbentuk pada pipa kapiler berdiameter dalam 1,6 mm dengan kemiringan 5° terhadap posisi horisontal dengan rentan nilai (J_L) = 0,033 – 4,935 m/s dan nilai (J_G) = 0,025 – 66,3 m/s yaitu : *bubble*, *plug*, *slug annular*, *churn*, dan *annular*.
 - a. Pola aliran *bubble* awal teramati pada (J_G) = 0,025 m/s dan (J_L) = 2,297 m/s untuk konsentrasi gliserin 0% dan 10% sedangkan pada konsentrasi 20% dan 30% pada nilai (J_G) = 0,871 m/s baru muncul aliran *bubbly* pada (J_L) = 4,935 m/s.
 - b. Pola aliran *plug* adalah aliran yang paling sering teramati pada penelitian ini terbentuk pada nilai kecepatan superfisial fluida gas (J_G) dan fluida cair (J_L) yang kecil dan daerah *plug* meluas dari J_G = 0,025 m/s - 4,238 m/s untuk semua konsentrasi gliserin.
 - c. Pola aliran *slug annular* awal teramati pada (J_G) = 3 m/s dan (J_L) = 0,033 m/s dan meluas hingga (J_G) = 50 m/s dan (J_L) = 0,232 m/s.
 - d. Pola aliran *churn* terbentuk ketika kecepatan superfisial fluida gas dan fluida cair sama sama tinggi, aliran ini teramati pada (J_G) = 1,941 m/s dan (J_L) = 2,297 m/s.
 - e. Pola aliran annular terbentuk ketika aliran fluida udara sangat kontinu dan mendominasi aliran. Aliran ini mulai teramati pada (J_G) = 22,6 m/s dan (J_L) = 0,033 m/s pada konsentrasi gliserin 30%.
2. Dengan naiknya konsentrasi gliserin mempengaruhi luasan dan penyempitan daerah garis transisi *annular* dan *plug*. Untuk garis transisi aliran *annular* dengan *slug annular* garis begeser kesebelah kiri maka semakin luas daerah garis transisi pada annular. Sedangkan garis transisi *slug annular* dengan *plug* menunjukkan penyempitan pada daerah *plug* yang awalnya pada konsentrasi gliserin 0% nilai J_G = 1,941 m/s dengan bertambahnya konsentrasi gliserin hingga 30% kini nilai J_G = 0,871 m/s.
3. Hasil dari perbandingan peta pola aliran dengan milik Anutup (2016) dengan perubahan konsentrasi gliserin menunjukkan hasil yang sesuai, terlihat dari pergeseran garis transisi pola aliran yang konsisten dengan ini perbandingan menunjukkan kesesuaian.

Daftar Pustaka

- Adiwibowo, P. H., Mesin, J. T., Teknik, F., & Negeri, U. (2005). Karakteristik flow patern pada aliran dua fase gas-cairan melewati pipa vertikal, 117–122.
- Badarudin Apip Dkk. (2014). Irwns 2014. *Observasi Polaaliran Dua Fasa Air-Udara Berlawanan Arah Pada Pipa Kompleks*, 42–46.
- Chung, P. M., & Kawaji, M. (2004). The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannels q, 30, 735–761. ijmultiphaseflow.2004.05.002
- K.A. Triplett, S.M. Ghiaasian, S.I. Abdel-Khalik, A. L. (2015). Lettuce growing under automated irrigation and hydrogel application. *Engenharia Agricola*, 35(5), 395–410.
- Kawahara, A. (2002). Investigation of two-phase flow pattern , void fraction and pressure drop in a microchannel, 28, 1411–1435.
- Korawan, A. D. (2015). POLA ALIRAN DUA FASE (AIR + UDARA) PADA PIPA HORISONTAL DENGAN VARIASI KECEPATAN SUPERFISIAL AIR Keywords : Abstract :, 14(September), 57–63.
- Santoso, B., Teknik, F., Teknik, F., Elektro, J. T., Teknik, F., Mesin, J. T., & Teknik, F. (n.d.). FLUKTUASI BEDA TEKANAN DARI POLA ALIRAN SLUG AIR-UDARA, 1–6.
- Siregar, D. I. S. (2016). No Title. *Studi Pola Aliran Dua Fase Udara -Campuran Air Dan Butanol Pada Saluran Mini Horizontal*.
- Sudarja, Deendarlianto, Indarto, Noverdi, R., & Gutama, A., (2014). Investivigasi Pola Aliran Dua-Fasa Gas-Cairan Di Dalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horisontal.
- Sur, A., & Liu, D. (2012). International Journal of Thermal Sciences Adiabatic air e water two-phase fl ow in circular microchannels. *International Journal of Thermal Sciences*, 53, 18–34.
- Wibowo, R., Hudaya, Z. A., & Kabib, M. (2015). Penentuan Sub-sub Pola Aliran Stratified Air-Udara Pada Pipa Horisontal Menggunakan Pengukuran Tekanan