

INVESTIGASI POLA ALIRAN DUA FASE UDARA AIR DAN GLISERIN (0-30%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 15⁰ TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Sukamta^{1,a}, Mugi Pramono^{2,b}, Sudarja^{3,c}

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jl. Brawijaya, Geblagan, Tamatirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183
msukamta@gmail.com, Mugi.pram@gmail.com sudarja_msn@yahoo.com

Abstract

Two-phase flow is part of a multi-phase flow, which is a flow that has two phases that flow simultaneously. Two-phase flow is widely used in the industrial world, such as nuclear power plants, chemical industries, steam power plants, and the petroleum industry and the working system of the blood vessels in humans. Inflow, either one phase or multi-phase, there is a flow pattern that is used to determine fluid behavior. This study was conducted to determine the effect of gas superficial velocity, the liquid superficial velocity and viscosity on the characteristics of the flow patterns, distribution of flow pattern maps and can compare maps of flow patterns with the previous studies.

This research was conducted on a pipe with a diameter of 1.6 mm which was installed at an angle of 15⁰ to the horizontal posts and The fluid used is a mixture of air-water and glycerin with a concentration of 0% (10%, 20%, and 30%). The tools used in this study are as follows: glass pipes, mixers, compressors, gas flowmeters, liquid flowmeters, water pumps, pressure vessels, reservoirs, separators, connectors, lighting, the optical correction boxes. The variation used for the gas superficial velocity $J_G = 0.025-66.3$ m/s and for the liquid superficial velocity $J_L = 0.033-4,935$ m/s. The liquid fluid that has been mixed is then pumped through into a pressure vessel (pressurized tank) then flowed through the water flow meter with the specified J_L . The gas fluid comes from the compressor then flows through the air flow meter with the specified pattern J_G . The two types of the fluid will mix in the mixer which will then flow to the test section to take a picture of the flow pattern using a camera that has been arranged to get the flow pattern.

Based on the results of the study, the flow patterns that were successfully observed were: plug, bubbly, slug annular, annular, and churn. The dominant flow pattern in this study is plug and churn. The plug flow pattern was observed for the first appearance when $J_G = 0.025$ m/s and $J_L = 0.033$ m/s. The bubbly flow pattern began to appear on $J_G = 0.025$ m/s and $J_L = 2,297$ m/s. The appearance of slug annular flow for all variations of glycerin concentration starts at $J_G = 3$ m/s and $J_L = 0.033$ m/s. The appearance of the annular flow pattern for the 0% and 10% glycerin concentrations appeared at $J_G = 50$ m/s and $J_L = 0.033$ m/s, while for the concentration of 20% the appearance of the churn flow began at $J_G = 1,941$ m/s and $J_L = 4,925$ m/s and 30% annular flow appears at $J_G = 22.6$ m/s and $J_L = 0.033$ m/s. The effect of viscosity in this study is that the plug flow makes the flow pattern shorter, while the bubbly flow results in the bubbly flow pattern becoming more round. Flow pattern maps show the distribution of different flow patterns due to the increased viscosity. The results of comparing the maps of pattern of changes in viscosity flow with previous studies showed the results that are not much different, this can be seen from the shifting of the consistent flow pattern transition lines.

Keywords: two phases, flow patterns, fluid, viscosity, flow map, superficial speed.

1. Pendahuluan

Aliran dua fase merupakan salah satu bagian dari aliran multi fase yang memiliki beberapa fase yang mengalir secara bersamaan. Aliran dua fase memiliki beberapa kompleksitas yang terjadi pada alirannya diantaranya yaitu : adanya interaksi antar tiap

fase, adanya pengaruh deformasi pergerakan antar fluida, pengaruh keseimbangan fase, pengaruh *pressure drop* dan sebagainya. Aliran dua fase banyak diaplikasikan dalam dunia industri, seperti pada pembangkit tenaga nuklir, industri kimia, pembangkit tenaga uap, industri perminyakan, dan pada sistem kerja dari pembuluh darah manusia.

Aliran dua fase, selain diterapkan di dunia industri juga diterapkan pada sistem peredaran darah manusia. Pada saat proses pendistribusian darah ke seluruh tubuh, terdapat oksigen yang dibawa oleh darah yang mengalir pada pembuluh darah manusia ini menunjukkan bahwa sistem peredaran darah pada manusia melibatkan aliran dua fase karena terdapat darah dan oksigen yang mengalir secara bersamaan serta pembuluh darah sebagai salurannya. Faktor yang mempengaruhi peredaran darah manusia diantaranya adalah kurangnya pasokan oksigen dalam darah, adanya lemak yang menghambat peredaran darah, serta adanya zat pengganggu lain yang menghambat darah mengalir secara normal.

Hal yang sangat penting dipelajari dari suatu aliran, baik satu fase maupun multi fase adalah pola aliran. Pola aliran menjadi poin penting dalam studi kasus aliran dua fase, misal pada fase cair-gas. Perilaku campuran antara cair-gas mengandung banyak hubungan yang saling terkait yang diperlukan dalam penyelesaian persamaan konservasi dua fase (*two-phase conservation equation*), yang ini bergantung pada seberapa jauh identifikasi pola aliran bisa dilakukan.

Penelitian mengenai aliran dua fase sudah sering dilakukan tetapi untuk penelitian aliran dua fase pada pipa dengan saluran mini (*minichannel*), dan pipa dengan saluran mikro (*microchannel*) masih sedikit yang melakukan penelitian ini. Ada beberapa penelitian yang pernah dilakukan pada pipa saluran mini dan saluran mikro yaitu Fukano (1993), Triplet dkk, (1999), Serizawa, (2002), Kawahara, (2002), Chung dan Kawaji, (2004), dan Wegman, (2007).

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.

Penelitian yang dilakukan oleh Fukano & Kariyasaki (1993) tentang aliran dua fase menggunakan tiga ukuran diameter pipa sirkular masing-masing 1 mm, 2,4 mm, dan 4,9 mm. Media yang digunakan yaitu fase cair menggunakan air, sedangkan untuk fase gasnya menggunakan udara, untuk arah alirannya di variasikan menjadi tiga arah yaitu arah horizontal, vertikal ke bawah dan vertikal ke atas. Fukano dan Kariyasaki (1993) memberikan perhatian kepada pola aliran dengan kondisi arah aliran yang berbeda-beda. Secara umum pada penelitian ini, pola aliran yang terbentuk diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu aliran *bubble*, aliran *intermittent* dan aliran *annular*.

Triplet 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 udara dan kecepatan superfisial cairan dilakukan variasi untuk mendapatkan berbagai jenis data. Variasi yang digunakan adalah sebagai berikut, kecepatan superfisial udara 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.

Serizawa dkk. (2002) melakukan penelitian aliran dua fase menggunakan pipa silika dan kuarsa dengan arah horizontal menggunakan empat variasi diameter yaitu 20, 25, 50, dan 100 μm . Udara dan uap air digunakan sebagai fase gas sedangkan untuk fase cair menggunakan air. Variasi untuk kecepatan superfisial gas berkisar antara 0,0012–295,3 m/s dan kecepatan superfisial cairan mulai dari 0,003–7,52 m/s. Dari hasil visualisasi penelitian ini didapat jenis aliran langka yang dapat dijelaskan karakteristik serta dapat divisualisasikan dengan baik menggunakan fotografi. Pola aliran yang di dapat di

antaranya yaitu : *dispersed bubbly, gas slug, liquid ring, liquid pump, annular, frothy, wishphy-annular, rivulet, liquid drplet bubbly, dan droplet.*

Penelitian aliran dua fase yang dilakukan oleh Kawahara dkk. (2002) menggunakan fase nitrogen-air yang sudah terionisasi menggunakan saluran sirkular yang terbuat dari *fused silica* dengan diameter 100 μm . Kecepatan superfisial udara yang digunakan 0,1–60 m/s sedangkan untuk kecepatan superfisial airnya 0,002–4 m/s. Pola aliran yang berhasil diamati pada penelitian ini adalah aliran *liquid alone (liquid slug)*, aliran *gas core with smooth-thin liquid film*, aliran *gas core with smooth-thick liquid film*, aliran *gascore with a ring-shaped liquid film*, dan aliran *gas core with deformed interface*, untuk aliran *bubbly* dan *churn* pada penelitian ini tidak teramati karena saluran yang sangat kecil yang berakibat memperkecil nilai bilangan *Reynolds*, memperbesar tegangan permukaan.

Efek diameter pada aliran dua fase diinvestigasi oleh Chung dan Kawaji (2004) untuk 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 fase (peta pola aliran, fraksi hampa, *pressure drop*) mirip dengan karakteristik aliran pada *minichannel* (diameter ~ 1 mm). Kecepatan superfisial fase cair diatur mulai 0,01–5,77 m/s sementara fase gas pada rentang 0,02–72,98 m/s. Dalam penelitian ini dilakukan visualisasi dengan fotografi terhadap pola aliran yang terbentuk. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pipa dengan ukuran 530 dan 250 μm memiliki karakteristik berbeda dengan pipa dengan ukuran 100 dan 50 μm .

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 $DH < 100 \mu\text{m}$ disebabkan karena viskositas dan tegangan permukaan yang lebih besar. Jadi, jelas bahwa pengaruh diameter pipa yang diinvestigasi, memberikan pengaruh pada karakteristik aliran dua fase.

Penelitian yang dilakukan Wegmann (2005) mengenai aliran dua fase menggunakan media dengan fase cair yaitu, air dan paraffin sedangkan untuk fase gas menggunakan udara. Penelitian ini menggunakan dua variasi ukuran diameter pipa yaitu 5,6 mm dan 7 mm, dengan dua jenis variasi diameter ini didapat perbedaan pola aliran yang terbentuk. Pada pipa dengan diameter 5,6 mm secara garis besar pola yang terlihat adalah aliran *intermittent* dan *annular* sedangkan untuk aliran *stratified* di diameter 5,6 mm sama sekali tidak ada baik di fase air-udara maupun di fase paraffin-udara. Terbentuknya aliran *stratified* pada pipa dengan diameter 7 mm, pada saat kecepatan superfisial air 0,003 m/s dan paraffin 0,06 m/s hal ini disebabkan tegangan permukaan air lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan permukaan paraffin.

(Biksono, 2006) melakukan penelitian pada pipa spiral untuk mengetahui karakteristik dan visualisasi aliran dua fase. Pengujian menggunakan media air dan udara bertekanan pada pipa dengan diameter luar 52 mm, diameter dalam 27 mm, serta Panjang 1120 mm. Hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien gesek pada aliran dua fase lebih besar, serta kecepatan aliran transisi jauh lebih cepat aliran dua fase jika dibandingkan dengan aliran satu fase dengan nilai (1600–1700) pada bilangan Reynold (Re). Besarnya nilai koefisien gesek terjadi karena adanya penambahan variasi kecepatan udara.

Penelitian yang dilakukan oleh Wiryanta (2015) bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan *elbow 75°* pada pipa akrilik dengan tinggi 200 mm dan panjang 100 mm. Fluida yang digunakan adalah campuran air dan udara dengan variasi kecepatan superfisial cairan 0,3–1,1 m/s dan variasi volumetrik gas quality (β)= 0,03–0,25m/s. Penelitian dilakukan secara *eksperimental* dan numerik dengan memvariasikan Penelitian yang dilakukan oleh Wiryanta (2015) bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan *elbow 75°* pada pipa akrilik dengan tinggi 200 mm dan panjang 100 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk kecepatan *superficial liquid* rendah, maka pola aliran *bubbly* dari arah vertikal akan cenderung bergerak keatas pada *downstream* dari *elbow* pada jarak 2D dari *outlet elbow*, sedangkan pada kecepatan *superficial liquid* yang sangat tinggi, fase gas akan terkonsentrasi pada *inner* dari *elbow* akibat adanya tekanan yang tinggi pada *outer elbow*, sehingga pola aliran yang teramati pada pipa miring adalah *slug-bubbly flow* atau *plug-bubbly flow*.

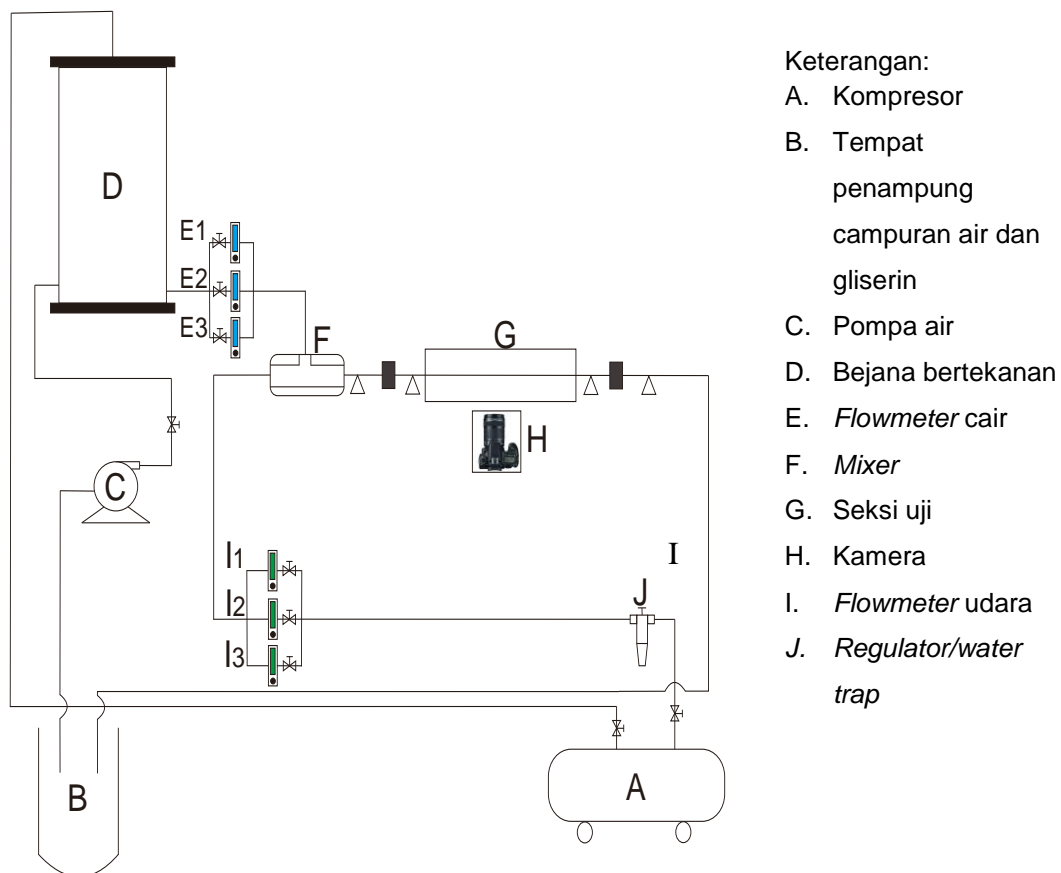
Wibowo dkk. (2015) melakukan penelitian pada pipa *acrylic* berdiameter 26 mm serta Panjang 10 m, untuk mengamati visualisasi pola aliran *stratified* serta beda tekanan.

Alat yang digunakan untuk mengamati sub-sub pola aliran secara visual adalah dengan kamera video berkecepatan tinggi, sedangkan untuk mengetahui fluktuasi beda tekanan dilakukan pengukuran diferensial. Dari hasil pengamatan secara visual pola aliran yang berhasil diamati dapat dibagi menjadi sub-sub pola aliran yaitu *stratified smooth two dimensional wave*, *atomization*, serta *roll wave*. Sulitnya pengamatan secara visual terhadap sub-sub pola aliran disebabkan oleh sinyal beda tekanan yang tidak bisa menggambarkan morfologi pola aliran secara langsung. Hal ini yang menjadi kelemahan jika pengamatan visual hanya dilakukan menggunakan fluktuasi beda tekanan.

Penelitian yang dilakukan oleh Sudarja dkk. (2018) 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. Dari hasil pengamatan yang dilakukan pola yang berhasil teramati adalah *bubbly*, *plug*, *slug annular*, dan *churn*.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan mengenai aliran dua fase pada pipa mini dan mikro bahwa gaya gravitasi tidak mempengaruhi pada terbentuknya pola aliran, sedangkan hal yang mempengaruhi adalah viskositas dan tegangan permukaan. Pendalaman lebih lanjut mengenai pengaruh viskositas pada aliran dua fase pada pipa saluran mini mikro masih sedikit. Maka dari itu penelitian aliran dua fase saluran mini dengan pengaruh viskositas masih dibutuhkan untuk menambah pengetahuan mengenai karakteristik aliran dua fase.

2. Metode Penelitian



- 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. *Regulator/water trap*

Gambar 1. Skema instalasi 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.

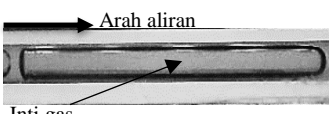
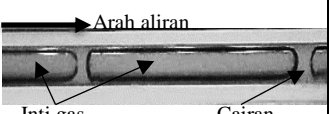
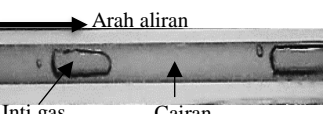
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian aliran dua fase pada pipa dengan ukuran diameter 1,6 mm yang terpasang dengan sudut 15° 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 penelitian terdahulu.

4.1 Pola aliran *plug*

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.

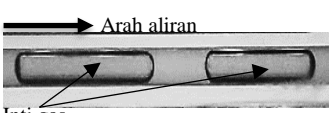
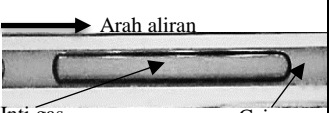
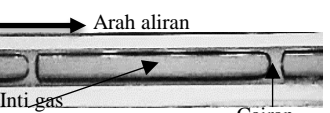
Tabel 4.1 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai J_G tetap yaitu $J_G = 0,423$ m/s dan nilai J_L bervariasi

0,033 m/s	0,232 m/s	0,7 m/s
		

Ketika kecepatan superfisial 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. Seperti pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa dengan nilai J_G yang tetap dan J_L yang divariasikan meningkat terlihat pola yang dihasilkan semakin pendek.

Munculnya gelembung kecil pada aliran *plug* disebabkan nilai J_L yang sudah semakin besar pada J_L 0,7 m/s terlihat aliran *bubble* menempel pada bagian *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*.

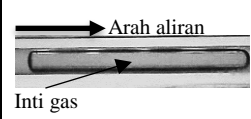
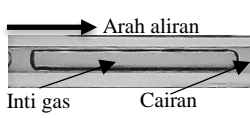
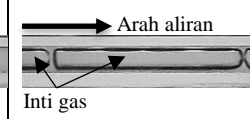
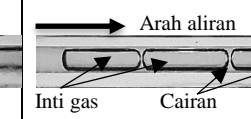
Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai J_L tetap yaitu $J_L = 0,149$ m/s dan nilai J_G bervariasi

0,066 m/s	0,423 m/s	0,871 m/s
		

Pola aliran *plug* yang berhasil diamati pada nilai $J_L = 0,149$ 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 jarak antar *plug* semakin rapat atau semakin menempel. Semakin besar nilai kecepatan

nilai superficial gas mengakibatkan ruang pemisah antara *plug* jadi semakin dekat karena cairan pemisah *plug* mulai tertekan oleh gas yang semakin membesar. Ketika kecepatan superficial gas dinaikkan membentuk *plug* panjang dengan jarak antar *plug* semakin dekat. Pengaruh kecepatan superficial gas terlihat mempengaruhi bentuk, ukuran dan jarak antar *plug* yang terbentuk, semakin besar kecepatan superficial gasnya mengakibatkan *plug* semakin memanjang, serta semakin rapatnya antar tiap pola aliran *plug* yang dihasilkan

Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *plug* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai $J_g = 0,207 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

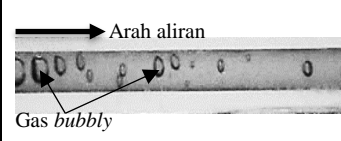
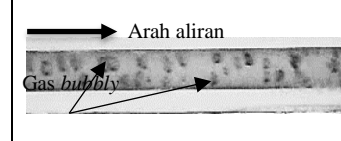
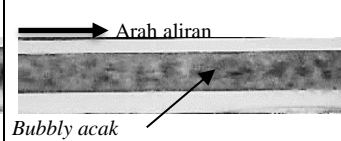
GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			

4.2 Pola aliran *bubbly*

Pola *bubbly* yang berhasil diamati pada penelitian ini muncul ketika nilai $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ sedangkan nilai J_L berada jauh lebih tinggi yaitu di $J_L = 2,297 \text{ m/s}$. Perbedaan akan terlihat ketika kecepatan superficial air dan udara divariasikan.

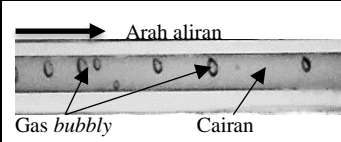
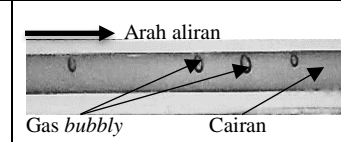
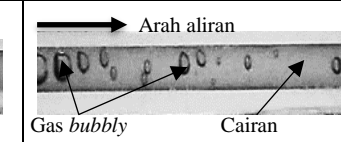
Perbandingan *bubbly* karena pengaruh kecepatan superficial air pada konsentrasi gliserin 0% dapat dilihat pada table 4.4 Ketika nilai J_L dinaikkan terlihat *bubbly* memiliki bentuk yang semakin kecil dan tidak beraturan. Debit fluida yang semakin membesar mengakibatkan fluida sulit ditembus oleh udara, 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 4.4 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai J_G tetap, yaitu $J_G = 0,423 \text{ m/s}$ dan nilai J_L bervariasi

0,89m/s	2,297m/s	4,935 m/s
		

Ketika nilai $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ 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 4.5 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 0,89 \text{ m/s}$ dan nilai J_G bervariasi

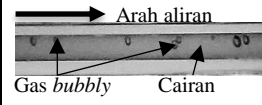
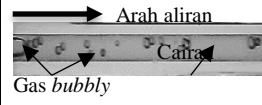
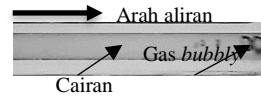
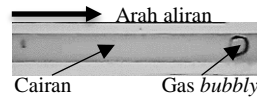
0,066 m/s	0,116 m/s	0,423m/s
		

Pengaruh nilai J_G yang dinaikkan terhadap pola *bubbly* adalah pola yang teramati memiliki kecepatan yang semakin tinggi. Berbeda dengan kecepatan superficial fluida cair yang dinaikkan, ketika nilai kecepatan superficial 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.

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.

Tabel 4.6 Perbandingan pola aliran *bubbly* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 0,116$ m/s dan $J_L = 0,89$ m/s

GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			

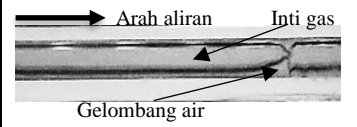
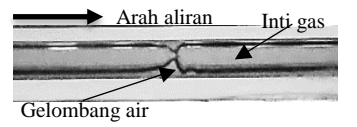
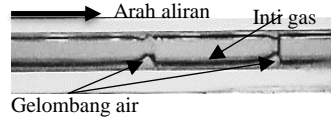
Pengaruh viskositas pada kemunculan aliran *bubbly* tidak terlihat begitu jelas dalam bentuk. Pengaruh yang terlihat jelas adalah aliran *bubbly* yang muncul memiliki kecepatan *bubbly* yang lebih lambat dengan meningkatnya konsentrasi gliserin pada kecepatan superficial fluida cair dan fluida gas yang sama. Hal ini disebabkan karena udara yang mendorong fluida cair semakin mengalami hambatan dengan meningkatnya viskositas pada fluida cair yang digunakan.

Dari table 4.6 terlihat bentuk *bubbly* yang semakin rapi tidak memiliki hidung lancip 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 acak juga memiliki jarak yang tidak beraturan. Dengan meningkatnya viskositas pada konsentrasi gliserin 30% kemunculan *bubbly* juga semakin berkurang jika dibandingkan pada konsentrasi 0% dan 10%.

4.3 Pola aliran *slug annular*

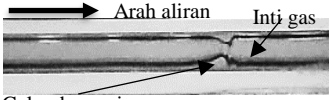
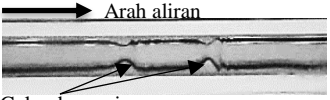
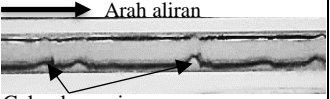
Aliran *slug annular* mulai teramati pada $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s. Ketika nilai J_G dinaikkan mencapai $J_G = 22,6$ m/s membuat aliran *slug annular* menyerupai aliran *annular*. Kemunculan *slug annular* mulai semakin berkurang dengan semakin kecilnya gelombang akibat semakin besarnya J_G , 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 0%, nilai J_G tetap, yaitu $J_G = 7$ m/s dan nilai J_L bervariasi

0,033m/s	0,091m/s	0,232 m/s
		

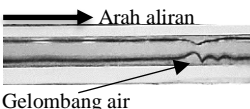
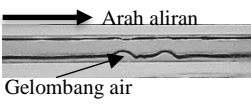
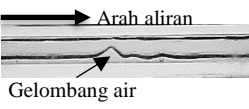
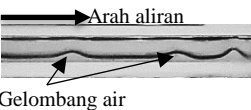
Pada tabel 4.7 terlihat perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, serta memvariasikan nilai J_L untuk mengetahui pengaruh kecepatan superficial air terhadap pola aliran *slug annular*. Variasi yang digunakan adalah 0,033 m/s, 0,091 m/s, dan 0,232 m/s. Perbedaan yang terjadi dengan meningkatnya nilai J_L tidak begitu jelas terlihat, tapi semakin besar nilai $J_L = 0,232$ 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 0%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 0,149$ m/s dan nilai J_G bervariasi

0,89m/s	2,297m/s	4,935 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 akibat nilai J_G yang berubah. Nilai J_G yang di variasikan adalah 4,238 m/s, 9,62 m/s, dan 22,6 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 22,6 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. Selain munculnya pola *plug*, ketika J_L 0,232 m/s terdapat aliran bayangan hitam seperti aliran *churn*

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

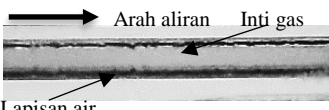
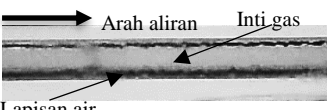
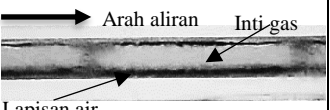
GL 0	GL 10	GL 20	GL 30
			

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

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
		

Pada tabel 4.10 terlihat perbandingan pola aliran *annular* terlihat pada J_L 0,149 m/s riak air yang muncul pada sisi atas dan bawah jauh lebih terlihat daripada 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 4.11 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 0,091$ m/s dan nilai J_G bervariasi

50 m/s	58,05 m/s	66,3 m/s

Tabel 4.11 menunjukkan perbandingan pola aliran *slug annular* pada konsentrasi 0% dengan J_L tetap pada 0,091 m/s. Pada tabel 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 superfisial gas dinaikkan mengakibatkan aliran *annular* jauh lebih tenang ketika diamati ketika proses pengambilan video.

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

Perbandingan pola aliran *annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s terlihat pada tabel 4.12. 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 alirannya jauh menurun.

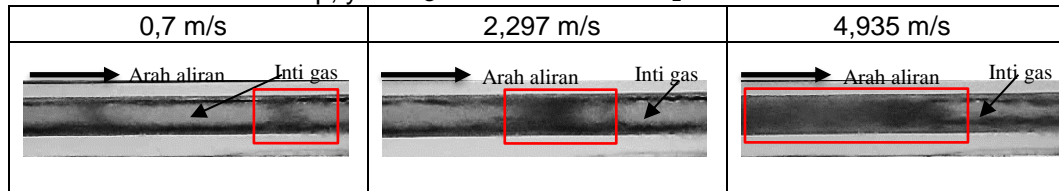
4.5 Pola aliran *churn*

Terbentuknya pola aliran *churn* adalah 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.

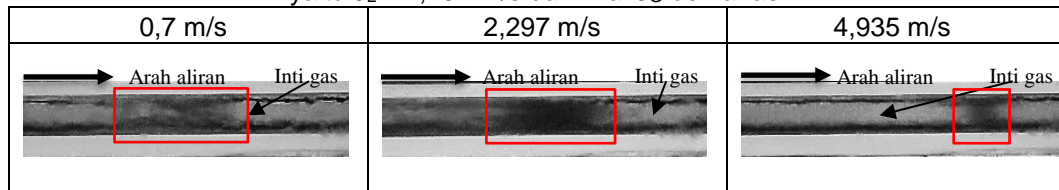
Pada tabel 4.13 ditunjukkan perbandingan pola aliran *churn* ketika nilai J_L yang di variasikan. Terlihat perbedaan ketika $J_L = 4,935$ m/s, bayangan hitam yang terlihat pada pola aliran *churn* jauh lebih banyak dari pada ketika J_L yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena debit air yang besar mengakibatkan udara terdispersi sehingga yang terlihat

bayangan hitam. Semakin besarnya JL bayangan hitam akan terlihat semakin dominan dan semakin cepat mengakibatkan sulitnya pengambilan gambar secara optimal.

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

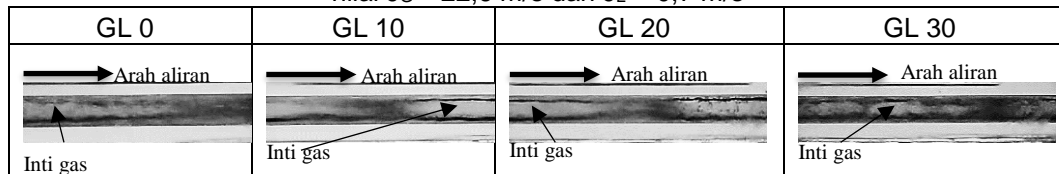


Tabel 4.14 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 0%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 2,297$ m/s dan nilai J_G bervariasi



Perbandingan peta 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 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.

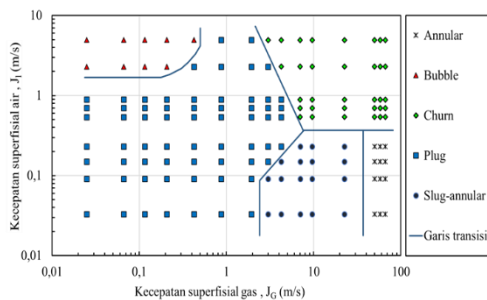
Tabel 4.15 Perbandingan pola aliran *churn* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s



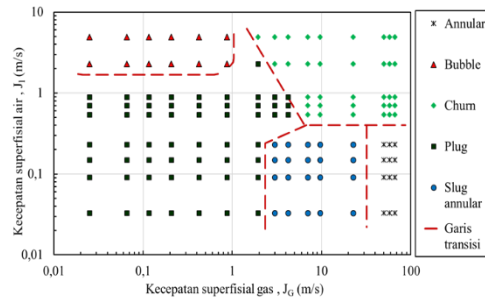
Dari tabel pola aliran diatas dapat dilihat bahwa pola aliran *churn* terlihat seperti *plug* yang memiliki ekor hancur atau acak yang kemudian diikuti aliran seperti gelembung-gelembung kecil. Inti dari aliran ini memiliki kecepatan yang sangat cepat sesuai dengan nilai J_G dan J_L nya. Pada konsentrasi gliserin 20 dan 30% aliran *churn* bagian gas yang menyerupai aliran *annular* terdapat gelembung-gelembung kecil yang melekat dan mengikuti aliran udara pada aliran *churn* yang muncul. Pengaruh viskositas yang dinaikkan dengan nilai J_G dan J_L yang tetap terlihat kecepatan aliran yang timbul lebih lambat daripada viskositas yang lebih rendah.

4.6 Peta pola aliran

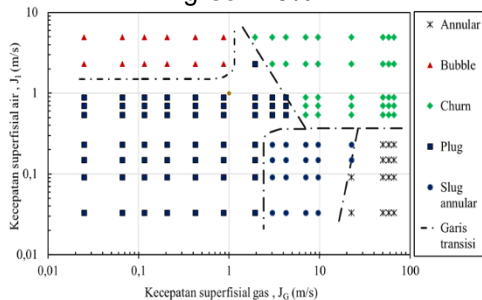
Pola aliran yang telah diamati dan diidentifikasi selanjutnya dimasukkan ke dalam sebuah peta pola aliran. Untuk sumbu pada peta pola aliran menggunakan kecepatan superficial gas pada sumbu x, sedangkan untuk sumbu y menggunakan kecepatan superficial cair. Nilai minimum sumbu-x yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan untuk nilai minimum sumbu-y yaitu 0,01 serta nilai maksimumnya 10. Pada peta aliran dapat ditentukan daerah transisi dan analisis mengenai daerah transisi yang terjadi. Eksperimen dilakukan pada kecepatan superficial gas (J_G) dengan interval 0,025 – 66,3 m/s, dan kecepatan superficial cairan (J_L) dengan interval 0,033 – 4,935 m/s.



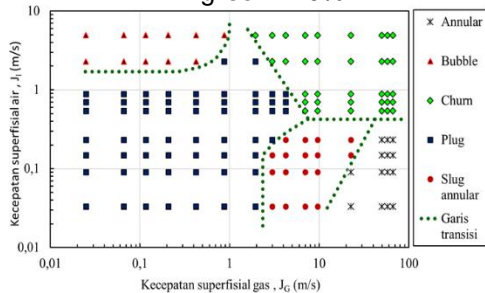
Gambar 4.1 Peta pola aliran gliserin 0%



Gambar 4.2 Peta pola aliran gliserin 10%

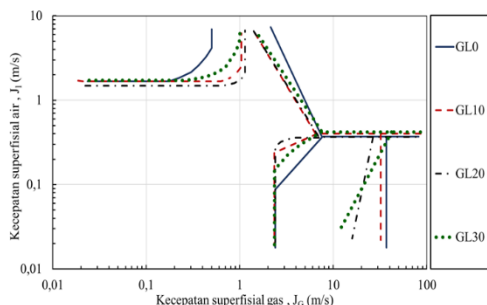


Gambar 4.3 Peta pola aliran gliserin 20%

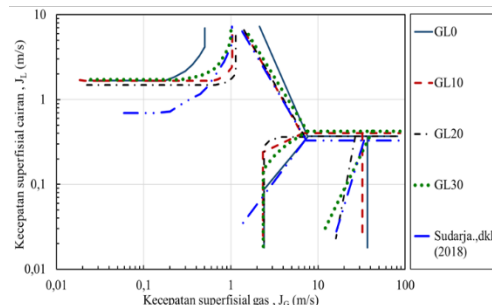


Gambar 4.4 Peta pola aliran gliserin 30%

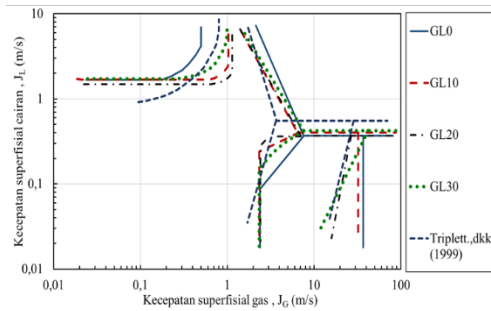
Meningkatnya viskositas terhadap persebaran pola aliran pada peta pola aliran terlihat perbedaan luas garis transisi yang terjadi antar tiap peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin yang berbeda. Pada Gambar 4.5 terlihat perbandingan peta pola aliran (0%, 10%, 20%, 30%) pada sudut 15° dengan menggunakan pipa 1,6 mm. Pada perbandingan peta dari tiap gliserin yang diujikan 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 kecil daripada konsentrasi 10% dan 20%, namun hampir memiliki kesamaan luas dengan konsentrasi 30% yang mengalami belokan pada J_G kisaran 1 m/s. Perbedaan yang begitu terlihat juga pada transisi kemunculan aliran *churn*, kemiringan pada konsentrasi 0% memiliki perbedaan yang menunjukkan kemunculan *churn* jauh lebih sedikit dari konsentrasi yang lain. Pada garis transisi antara *plug/slug annular* menunjukkan jumlah *plug* yang jauh lebih banyak pada penelitian 0%, dan jumlah aliran *slug annular* yang lebih sedikit pada penelitian 20% dan 30%. Garis lurus pada transisi antara *slug annular/annular* terlihat lurus pada konsentrasi 0% dan 10% sedangkan pada 20% dan 30% mengalami kemiringan yang menandakan kenaikan viskositas pada penelitian ini mengakibatkan kemunculan aliran *annular* lebih awal muncul ketika viskositas mengalami kenaikan.



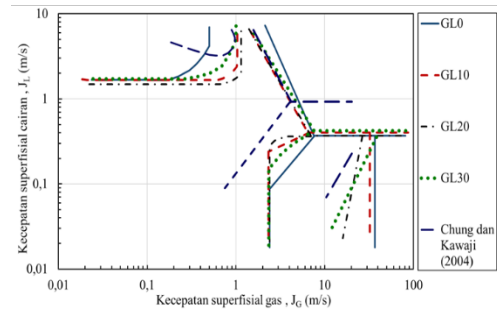
Gambar 4.3 Peta pola aliran gliserin 0-30%



Gambar 4.3 Perbandingan peta pola aliran 0-30 dan garis transisi Sudarja dkk, (1999)



Gambar 4.3 Perbandingan peta pola aliran 0-30 dan garis transisi Triplett dkk, (1999)



Gambar 4.3 Perbandingan peta pola aliran 0-30 dan garis transisi Chung dan Kawaji (2004)

4. Kesimpulan

- Penelitian dari pola aliran dua fase pada pipa berukuran 1,6 mm yang dipasang dengan kemiringan 15° terhadap posisi horizontal dengan batas $J_G = 0-66,3$ m/s dan $J_L = 0,033-4,935$ m/s, menghasilkan lima jenis pola aliran yaitu : *plug*, *bubbly*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*.

 - Pola aliran *plug*, akibat nilai J_G yang dinaikkan mengakibatkan pola aliran *plug* semakin panjang dan jaraknya semakin rapat, sedangkan jika J_L dinaikkan mengakibatkan aliran *plug* semakin pendek.
 - Dinaikannya nilai J_G mengakibatkan pola aliran *bubbly* semakin rapat. Pengaruh nilai J_L yang dinaikkan mencapai $J_L = 4,935$ m/s membuat aliran *bubbly* terlihat seperti aliran *churn*.
 - Ketika nilai J_G dinaikkan mencapai $J_G = 22,6$ m/s membuat aliran *slug annular* menyerupai aliran *annular*. Ditingkatnya J_L mencapai 0,232 m/s mengakibatkan pola aliran *slug annular* mulai diikuti kemunculan aliran *churn*.
 - Nilai J_G yang dinaikkan terhadap pola *annular* mengakibatkan riak-riak air yang muncul menjadi lebih sedikit, terlihat riak air lebih tenang, sedangkan ditingkatkannya J_L mengakibatkan riak air yang muncul semakin terlihat dan sudah mulai nampak pola aliran *churn*.
 - Dinaikkan J_G mengakibatkan aliran *churn* lebih lambat dan bayangan hitam lebih berkurang. Nilai J_L yang dinaikkan mengakibatkan aliran lebih cepat dan bayangan hitam yang muncul lebih banyak.
- Dengan meningkatnya viskositas mempengaruhi bentuk pola aliran, yaitu *plug* dan *bubbly*. Pada pola aliran *plug* ketika viskositas semakin besar menyebabkan panjang aliran *plug* yang terbentuk akan semakin pendek. Pada pola aliran *bubbly* ketika viskositas dinaikkan maka pola aliran *bubbly* yang terbentuk memiliki ekor yang semakin bulat.
- Hasil perbandingan peta pola aliran perubahan viskositas dengan penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda, hal ini terlihat dari pergeseran garis transisi pola aliran yang konsisten. Secara keseluruhan peta pola aliran yang terbentuk memiliki bentuk yang hampir sama dari peta pola aliran dengan perbandingan viskositas serta perbandingan dengan penelitian terdahulu.

Daftar Pustaka

- Biksono, D. (2006). Karakteristik dan Visualisasi Aliran Dua Fasa pada Pipa Spiral. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 69–74.
- Chung, P. M. Y., & Kawaji, M. (2004). The effect of channel diameter on adiabatic two-phase flow characteristics in microchannels. *International Journal of Multiphase Flow*, 30(7–8 SPEC. ISS.), 735–761.

<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2004.05.002>

- Fukano, T., & Kariyasaki, A. (1993). Characteristics of gas-liquid two-phase flow in a capillary tube, *141*, 59–68.
- Kawahara, A., A, P. M.-Y. C., & Kawaji, M. (2002). Investigation of two-phase flow pattern, void fraction and pressure drop in a microchannel.
- Serizawa, A., Feng, Z., & Kawara, Z. (2002). Two-phase flow in microchannels Akimi, *26*, 703–714.
- 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.
- Triplett, K. A., Ghiaasiaan, S. M., Abdel-Khalik, S. I., & Sadowski, D. L. (1999). Gas-liquid two-phase flow in microchannels Part I: two-phase flow patterns K.A., *25*, 395–410.
- Wegmann, A. (2005). *Multiphase Flows in Small Scale Pipes*, (16189).
- Wibowo, R., Hudaya, A. Z., & Kabib, M. (2015). STUDI EKSPERIMEN MENGENAI SUB-SUB POLA ALIRAN STRATIFIED PADA ALIRAN DUA FASA SEARAH BERDASAR FLUKTUASI BEDA TEKANAN PADA PIPA HORIZONTAL, *6(2)*, 385–390.
- Wiryanta, I. K. E. H. (2015). Void Fraction Dan Pemetaan Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Melewati Elbow 75 ° Dari Pipa Vertikal Menuju Pipa Miring 15 °, *15(2)*, 82–89.