

INVESTIGASI POLA ALIRAN DUA FASE UDARA AIR DAN GLISERIN (40-70%) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 30⁰ TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Jaka Sabiq M^{1,a}, Sukamta^{2,b}, Sudarja^{3,c}

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jl. Brawijaya, Geblagan, Tamatirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183
1mutsagqafjakasabiq@yahoo.com, 2msukamta@gmail.com, 3sudarja_msn@yahoo.com

Abstract

Two-phase flow is a flow consisting of a combination of two different types of phases. The application of two-phase flow especially in mini channels in daily life is applied naturally to human blood vessels where blood and oxygen flow together in the blood vessels. Human blood vessels have different diameters and positions. The human blood also have different viscosities between one and another.

This research was conducted to determine the flow pattern and map of flow patterns in human blood vessels that were simulated using mini channels and using certain and the length of the test section 130 mm with a slope of 30 ° to the horizontal position. The working fluid used is air and a mixture of water (distilled water) with glycerin with a concentration of 40%, 50%, 60%, 70% for each mixture. Variations in water and gas superficial velocity values in the range JL = 0.033 - 4.935 m / s and JG = 0.025 - 66.3 m / s. Research uses visualization methods using high-speed cameras. 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 slug-annular. 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 fasa (khususnya pada saluran mini) masih sangat luas pengaplikasiannya khususnya pada dunia industri maupun dalam kehidupan manusia sehari-harinya. Menurut Sudarja (2016) pengaplikasian aliran dua fasa pada dunia industri antara lain pada *micro-electro-mechanical-system* (MEMS) dan sistem pendinginan mikroelektronik (*microelectronic cooling system*). Adapun dalam kehidupan sehari-hari manusia aliran dua fasa (khususnya pada saluran mini) teraplikasikan secara alamiah yaitu pada sistem peredaran darah manusia, dimana darah yang mengandung oksigen, karbohidrat, protein (dalam bentuk asam amino) serta nutrisi yang didapat dari makanan akan dialirkan melalui pembuluh darah yang kemudian diedarkan ke seluruh tubuh.

Dalam suatu studi aliran dua fasa hal yang sangat penting untuk dipelajari adalah mengenai pola aliran, pola aliran ini menjadi suatu poin penting untuk dipelajari dikarenakan adanya penggabungan karakteristik yang berbeda antar fasa yang bergabung dalam suatu saluran. Dalam penelitiannya Fukano dan kariyasaki (1993) mengatakan bahwa gravitasi tidak mempengaruhi pola aliran. Akan tetapi pada sudarja

(2014) terdapat pola aliran *bubbly* yang mengapung pada bagian atas pipa. Hal ini dapat disinyalir bahwa aliran masih dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Oleh karena itu pengaruh orientasi aliran perlu diteliti.

2. Tinjauan Pustaka

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*.

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 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.

Sudarja (2014) melakukan penelitian tentang pola aliran di dalam pipa berukuran mini pada aliran horizontal. Penelitian ini dilakukan pada seksi uji berupa pipa kaca berdiameter dalam 1,6 mm posisi horizontal menggunakan fluida gas dan cairan berupa udara kering dan air. Kecepatan superfisial gas yaitu 0,08 - 64,42 m/s dan kecepatan superfisial cairan yaitu 0,02 – 3,09 m/s. Penelitian ini dilakukan pada suatu instalasi alat yang terdiri dari: tanki air, pompa air, planum, kompresor udara, water trap. Hasil dari penelitian ini didapat peta pola aliran dan pola aliran yang terdeteksi yaitu *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular*, *wavy-annular* dan *annular*.

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.

D. Anutup (2016) melakukan penelitian tentang karakteristik pola aliran pada pipa mini 1,6 mm dengan variasi air gliserin dan udara (20%, 40%, dan 60%). Pada penelitian ini pola aliran yang didapat yaitu *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*.

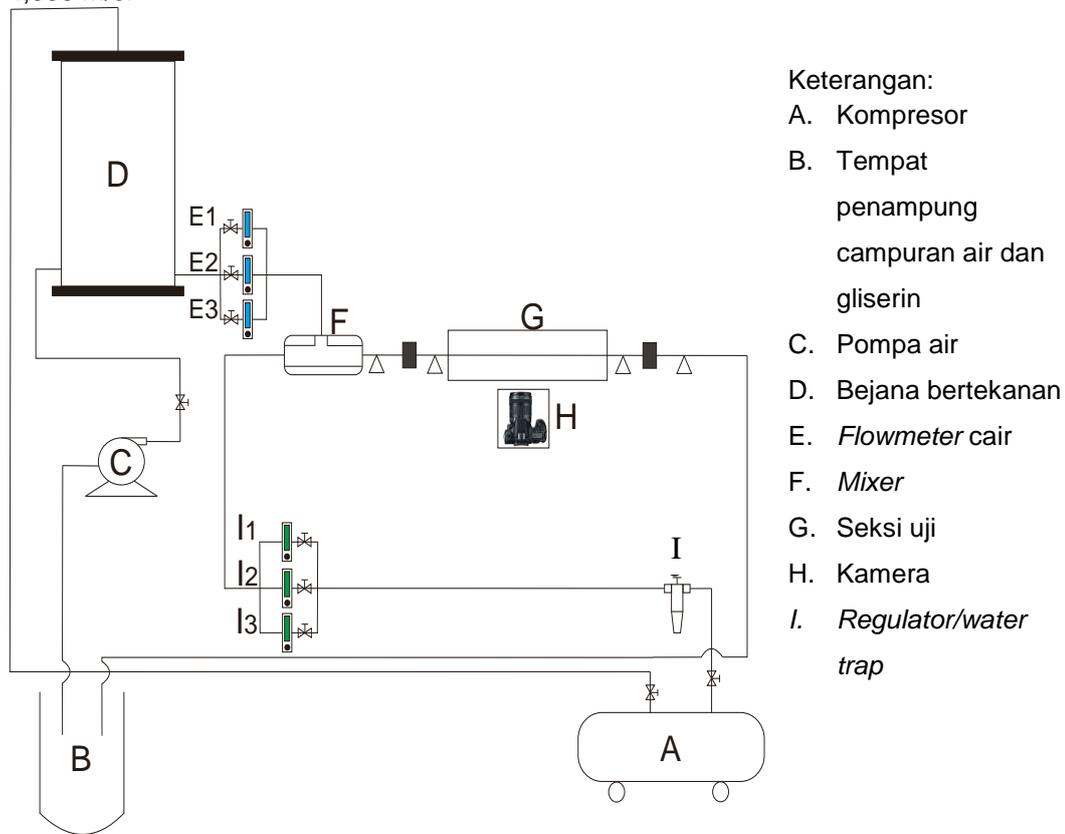
Penelitian yang dilakukan oleh Sudarja dkk. (2018) tentang aliran dua fase menggunakan pipa dengan diameter 1,6 mm yang dipasang secara horizontal. Media yang digunakan pada penelitian ini adalah udara untuk fase gasnya sedangkan untuk fase cair digunakan air dengan campuran gliserin dengan tujuan untuk 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*, *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.

3. Metode Penelitian

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



Gambar 1. Skema instalasi penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian aliran dua fase pada pipa dengan ukuran diameter 1,6 mm yang terpasang dengan sudut 30° dengan campuran gliserin 40%, 50%, 60%, dan 70%

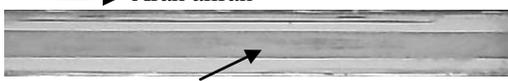
meliputi : pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran dari masing-masing campuran serta perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu.

4.1 Pola aliran *bubbly*

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

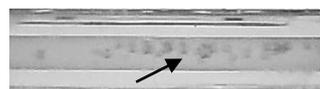
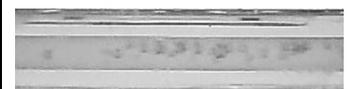
Perbandingan *bubbly* karena pengaruh kecepatan superfisial air pada konsentrasi gliserin 40% dapat dilihat pada table 4.1 Ketika nilai J_L dinaikkan terlihat *bubbly* memiliki bentuk yang semakin kecil dan tidak beraturan. Debit fluida yang semakin membesar mengakibatkan fluida sulit ditembus oleh udara, 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 50%, nilai J_G tetap yaitu $J_G = 0,025$ m/s dan nilai J_L bervariasi

2,297 m/s	4,935 m/s
 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p> <p><i>Bubbly</i> semakin kecil</p>

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

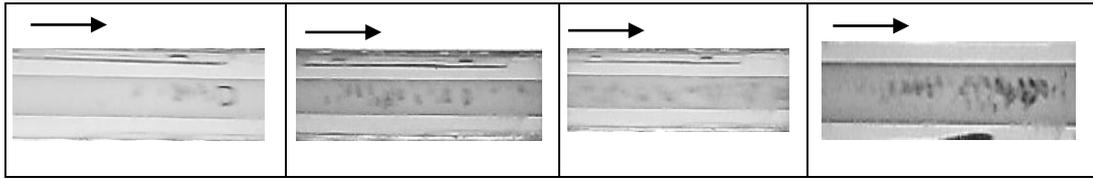
Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai J_L tetap yaitu $J_L = 2,297$ m/s dan nilai J_G bervariasi

0,025 m/s	0,066 m/s	0,207 m/s
 <p>Arah Aliran</p>	 <p>Arah Aliran</p> <p><i>bubbly</i> berkurang</p>	 <p>Arah Aliran</p>

Apabila kecepatan superfisial udara dinaikkan pada kecepatan superfisial air yang sama maka ukuran *bubbly* semakin mengecil dan jarak antar *bubbly* relatif sama dengan jumlah *bubbly* yang semakin berkurang.

Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *bubbly* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s

GL 40	GL 50	GL 60	GL 70
Arah Aliran	Arah Aliran	Arah Aliran	Arah Aliran



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 superfisial 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.

4.2 Pola aliran *plug*

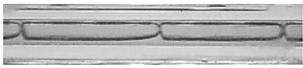
Pola aliran *plug* didefinisikan sebagai pola aliran *bubbly* yang memanjang. Aliran *plug* terjadi ketika kecepatan superfisial gas cukup besar untuk menembus suatu aliran fluida cair namun tidak cukup besar untuk membelah aliran fluida cair secara berkelanjutan. Pola aliran *plug* dengan berbagai macam variasi viskositas mulai teramati pada $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,003 \text{ m/s}$.

Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai J_G tetap, yaitu $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ dan nilai J_L bervariasi

0,033 m/s	0,539 m/s	0,871 m/s
→ Arah Aliran	→ Arah Aliran	→ Arah Aliran
		

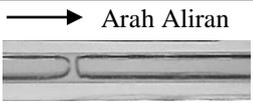
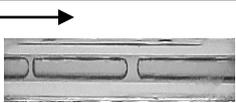
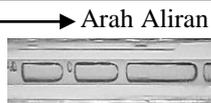
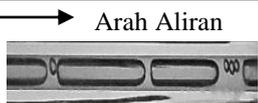
Perbandingan *plug* karena pengaruh kecepatan superfisial air pada konsentrasi gliserin 50% dapat dilihat pada table 4.4 Ketika nilai J_L dinaikkan terlihat pola aliran *plug* yang teramati semakin pendek.

Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 0,879 \text{ m/s}$ dan nilai J_G bervariasi

0,025 m/s	0,423 m/s	0,871 m/s
→ Arah Aliran	→ Arah Aliran	→ Arah Aliran
		

Pengaruh nilai J_G yang dinaikkan terhadap pola *plug* yaitu pada saat nilai kecepatan superfisial gas naik maka *plug* mulai mengalami perubahan yaitu bagian bawah *plug* yang sedikit bergelombang dan pola *plug* yang semakin panjang dan berdempetan.

Tabel 4.6 Perbandingan pola aliran *plug* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,89 \text{ m/s}$

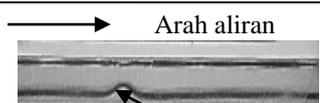
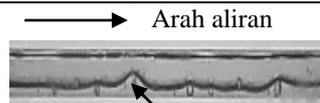
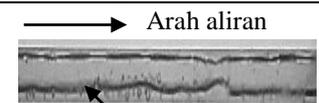
GL 40	GL 50	GL 60	GL 70
 <p>Arah Aliran</p>		 <p>Arah Aliran</p>	 <p>Arah Aliran</p>

Pengaruh kenaikan viskositas cairan pada kemunculan plug berdampak pada bentuk aliran plug yang semakin mengecil disetiap kenaikan nilai viskositas cairnya.

4.3 Pola aliran *slug annular*

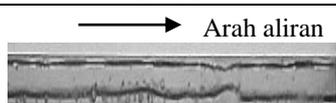
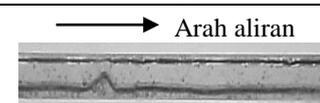
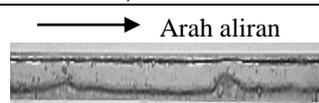
Aliran *slug annular* mulai teramati pada $J_G = 1,941$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s. Pola aliran slug-annular merupakan sebuah pola aliran peralihan dari aliran *plug* ke *annular*. Pola aliran slug-annular dikategorikan sebagai aliran udara berkelanjutan dan aliran air pada bagian atas dan bagian bawah yang bergelombang, akibat kenaikan kecepatan superfisial udara aliran plug panjang yang sebelumnya dipisahkan oleh plug air berhasil ditembus oleh aliran udara.

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

0,033 m/s	0,232 m/s	0,539 m/s
 <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>	 <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>	 <p>Arah aliran</p> <p>Gelombang air</p>

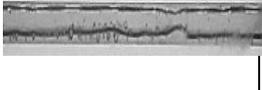
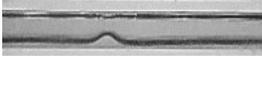
Hasil pengamatan pada koordinat $J_G = 3$ m/s dan J_L yang bervariasi menunjukkan bahwa lapisan air pada bagian bawah pipa lebih tebal dibandingkan dengan bagian atas pipa. Dari hasil pengamatan ini terlihat bahwa aliran udara berusaha diputus oleh gelombang air namun gelombang air ini belum cukup besar untuk memotongnya. Seiring dengan naiknya kecepatan superfisial cair gelombang pada bagian bawah pipa semakin besar namun tetap belum mampu memotong aliran udara, akan tetapi setiap naiknya nilai kecepatan superfisial cair maka aliran *slug-annular* mulai diikuti oleh *forthy bubbly* dan volume dari *forthy bubbly* ini meningkat seiring dengan naiknya kecepatan superfisial cair.

Tabel 4.8 Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 0,149$ m/s dan nilai J_G bervariasi

3 m/s	7 m/s	9,62 m/s
 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p>	 <p>Arah aliran</p>

Dalam setiap kenaikan nilai kecepatan superfisial udara, gelombang yang terlihat pada bagian bawah pipa menjadi semakin sedikit ini diakibatkan oleh aliran air yang berusaha memotong aliran udara namun tidak mampu memotongnya diakibatkan kecepatan aliran udara yang semakin tinggi.

Tabel 4.9 Perbandingan pola aliran *slug annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 3 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

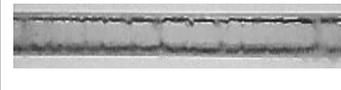
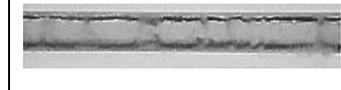
GL 40	GL 50	GL 60	GL 70
→ Arah aliran	→ Arah aliran	→ Arah aliran	→ Arah aliran
			

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 $J_G = 50 \text{ m/s}$ dan $J_L 0,033 \text{ m/s}$, kemunculan aliran *annular* selalu sama pada tiap konsentrasi gliserin. Perbedaan yang terjadi ketika konsentrasi gliserin 40%, 50%, 60% dan 70% 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.

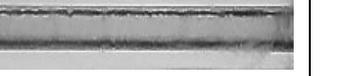
Tabel 4.10 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai J_G tetap, yaitu $J_G = 50 \text{ m/s}$ dan nilai J_L bervariasi

0,033m/s	0,149 m/s	0,539m/s
→ Arah aliran	→ Arah aliran	→ Arah aliran
		

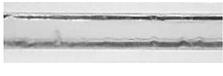
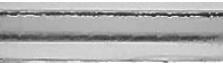
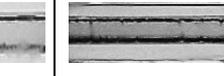
Pada tabel 4.10 terlihat perbandingan pola aliran *annular* terlihat pada $J_L 0,033 \text{ m/s}$ riak air yang muncul pada sisi atas dan bawah jauh lebih terlihat daripada $J_L 0,149 \text{ m/s}$ hal ini disebabkan aliran air yang mengalir pada bagian atas dan bawah memiliki pertambahan debit aliran sehingga air yang terdorong udara semakin banyak. Ketika J_L berada pada $0,539 \text{ m/s}$ 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 menunjukkan perbandingan pola aliran *slug annular* pada konsentrasi 50% dengan J_L tetap pada $0,232 \text{ m/s}$. 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 naiknya 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 50%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 0,232$ m/s dan nilai J_G bervariasi

50 m/s	58,05 m/s	66,3 m/s
→ Arah aliran	→ Arah aliran	→ Arah aliran
		

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 40	GL 50	GL 60	GL 70
→ Arah aliran	→ Arah aliran	→ Arah aliran	→ Arah aliran
			

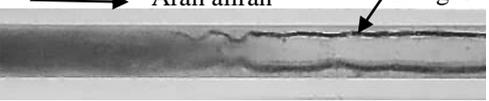
Perbandingan pola aliran *annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s terlihat pada tabel 4.12. pengaruh kenaikan viskositas pada pola aliran *annular* terlihat bahwa semakin besarnya viskositas fluida cair mengakibatkan riak air yang timbul semakin berkurang. Ketika pengambilan video terlihat kecepatan aliran lebih lambat terjadi ketika viskositas fluida cair jauh lebih besar, perbedaan yang jelas antara 40% dan 70% kecepatan aliran jauh menurun.

4.5 Pola aliran *churn*

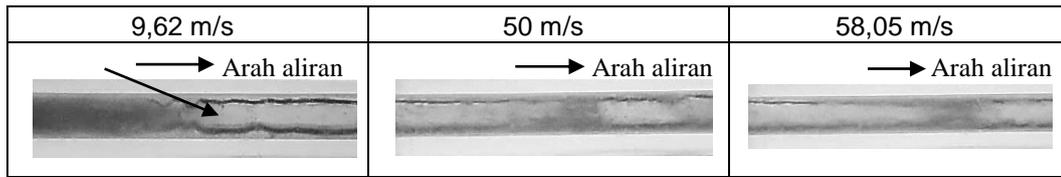
Terbentuknya pola aliran *churn* adalah ketika kecepatan superficial gas dan kecepatan superficial cairan sama-sama tinggi. Ketika nilai J_L besar seharusnya aliran yang terbentuk adalah aliran *plug*, tetapi karena nilai J_G yang juga besar mengakibatkan air terdispersi menjadi kecil, kecepatan alirannya 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 J_L 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

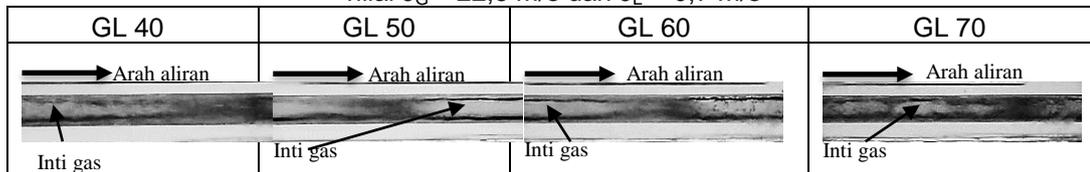
2,297 m/s	4,935 m/s
→ Arah aliran	Inti gas → Arah aliran
	

Tabel 4.14 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai J_L tetap, yaitu $J_L = 2,297$ m/s dan nilai J_G bervariasi



Perbandingan peta pola aliran *churn* dengan memvariasikan kecepatan superfisial 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 58,05 m/s bayangan hitam terlihat tidak terlalu banyak jika dibandingkan J_G 9,62 m/s. 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.

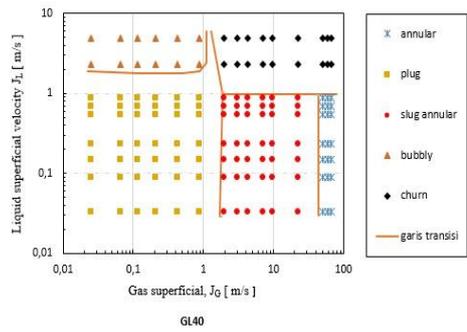
Tabel 4.15 Perbandingan pola aliran *churn* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,7$ m/s



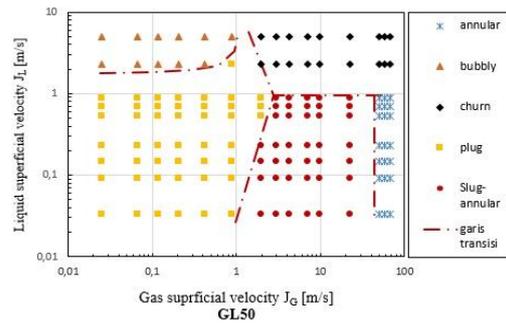
Dari tabel pola aliran diatas dapat dilihat bahwa pola aliran *churn* terlihat seperti *plug* yang memiliki ekor hancur atau acak yang kemudian diikuti aliran seperti gelembung-gelembung kecil. Inti dari aliran ini memiliki kecepatan yang sangat cepat sesuai dengan nilai J_G dan J_L nya. Pada konsentrasi 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

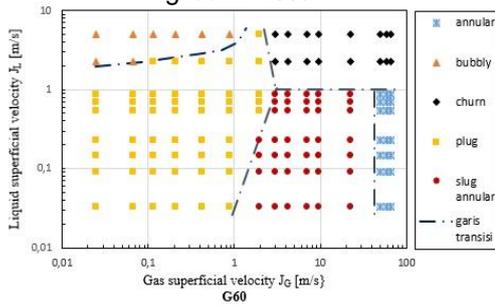
Pola aliran yang telah diamati dan diidentifikasi selanjutnya dimasukan ke dalam sebuah peta pola aliran. Untuk sumbu pada peta pola aliran menggunakan kecepatan superfisial gas pada sumbu x, sedangkan untuk sumbu y menggunakan kecepatan superfisial cair. Nilai minimum sumbu-x yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 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 superfisial gas (J_G) dengan interval 0,025 – 66,3 m/s, dan kecepatan superfisial cairan (J_L) dengan interval 0,033 – 4,935 m/s.



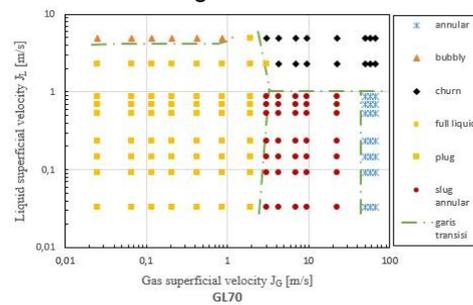
Gambar 2 Peta pola aliran gliserin 40%



Gambar 3 Peta pola aliran gliserin 50%

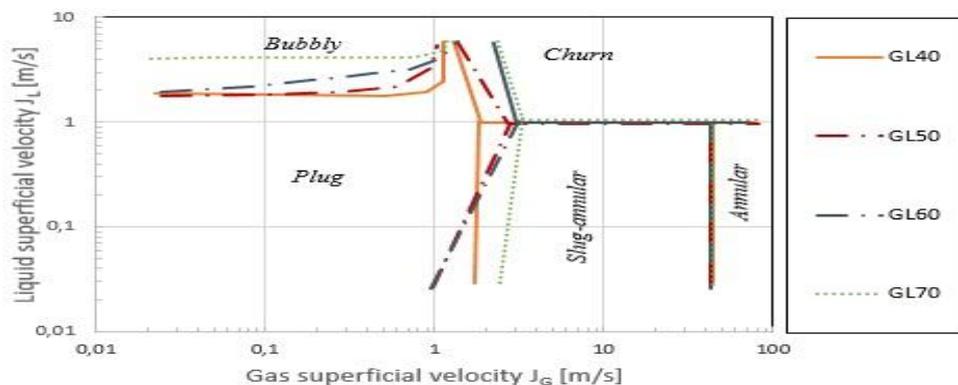


Gambar 4 Peta pola aliran gliserin 60%

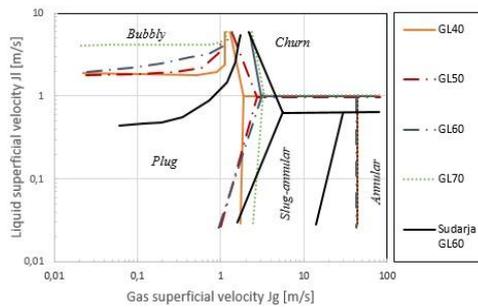


Gambar 5 Peta pola aliran gliserin 70%

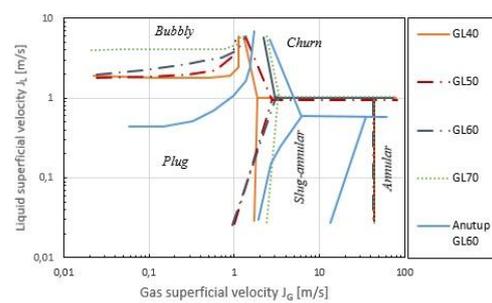
Meningkatnya viskositas terhadap persebaran pola aliran pada peta pola aliran terlihat perbedaan luas garis transisi yang terjadi antar tiap peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin yang berbeda. Pada Gambar 4.5 terlihat perbandingan peta pola aliran (40%, 50%, 60%, 70%) pada sudut 30° dengan menggunakan 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 70% terlihat memiliki luas yang jauh lebih kecil daripada konsentrasi 40% dan 50%, dan namun hampir memiliki kesamaan luas dengan konsentrasi 60%. Pergeseran garis transisi juga terjadi pada daerah *slug-annular* dan *churn* dimana setiap kenaikan konsentrasi gliserin garis transisi *slug-annular* dan *churn* semakin bergeser ke arah kanan. Sedangkan garis transisi pada daerah *annular* tidak mengalami perubahan posisi disetiap kenaikan konsentrasi gliserin.



Gambar 6 Peta pola aliran gliserin 40-70%



Gambar 7 Perbandingan peta pola aliran 40-70 dan garis transisi Sudarja (2018)



Gambar 8 Perbandingan peta pola aliran 40-70 dan garis transisi Anutup (2016)

5. Kesimpulan

1. Penelitian dari pola aliran dua fase pada pipa berukuran 1,6 mm yang dipasang dengan kemiringan 30° 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*.
2. Meningkatnya viskositas tidak terlalu mempengaruhi bentuk pola aliran. Bentuk pola aliran lebih dipengaruhi oleh kenaikan kecepatan superfisial air dan udara.
3. Hasil perbandingan peta pola aliran perubahan viskositas dengan penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang signifikan berbeda, khususnya pada garis transisi pola aliran *bubbly*, *slug-annular* dan *churn*.

Daftar Pustaka

- Fukano, T., & Kariyasaki, A. (1993). Characteristics of gas-liquid two-phase flow in a capillary tube, *141*, 59–68.
- 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>
- 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.