

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil dan pembahasan dari penelitian aliran dua fase pada pipa mini berdiameter 1,6 mm dengan kemiringan sudut  $45^0$  terhadap posisi horizontal pada berbagai konsentrasi campuran meliputi : pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran dari tiap konsentrasi campuran, dan membandingkan peta pola aliran yang didapat dengan peta pola aliran dari penelitian sebelumnya.

### **4.1 Pola Aliran**

Penelitian aliran dua fase pada pipa mini berdiameter 1,6 mm dengan kemiringan  $45^0$  telah dilakukan. Arah aliran fluida yang telah divariasi tidak banyak merubah terbentuknya pola aliran, Gaya kapiler menjadi penting pada pipa dengan ukuran kurang dari 5 mm, bahkan pada aliran horizontal pola aliran menjadi aksis-simetris dimana ketebalan film air menutupi semua permukaan pipa dengan rata, viskositas mempengaruhi karakteristik pola aliran. (Fukano & Kariyasaki, 1993). Hasil dari penelitian ini, viskositas yang telah divariasi mempengaruhi karakteristik dari setiap pola aliran dimana terjadi perbedaan bentuk pola aliran pada setiap campuran.

Pada penelitian ini fluida yang digunakan adalah gliserin dan akuades yang kemudian dicampur dengan variasi konsentrasi campuran gliserin yaitu 40%, 50%, 60% dan 70% sedangkan untuk fluida gas menggunakan udara yang disaring pada *water trap* guna mendapatkan udara kering. Untuk mendapatkan data pola aliran dilakukan penganturan kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) yang selanjutnya akan direkam menggunakan Kamera video berkecepatan tinggi kemudian dilakukan pengamatan terhadap pola aliran yang terbentuk. Pola aliran yang berhasil diamati dipetakan kedalam koordinat berdasarkan kecepatan superfisial cairan dan gas. Dalam penelitian ini dilakukan variasi campuran untuk mengetahui bentuk maupun perubahan yang terjadi pada pola aliran dengan perubahan nilai viskositas.

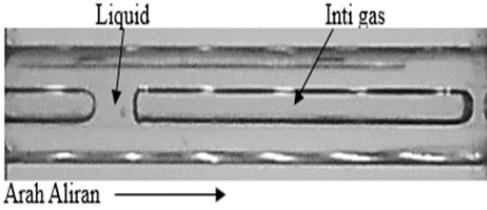
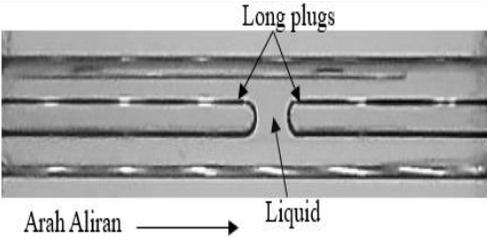
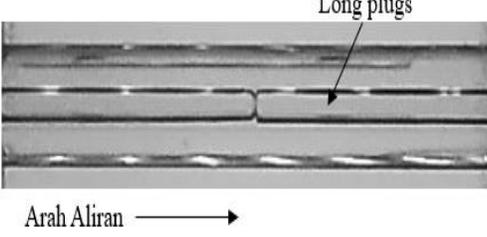
Dari data yang telah diamati terdapat lima pola aliran yang terbentuk yaitu: *bubbly*, *plug*, *slug annular*, *annular* dan *churn*.

#### 4.1.1 Pola Aliran *Plug*

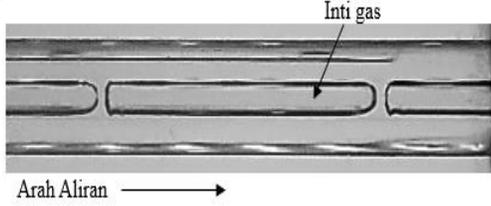
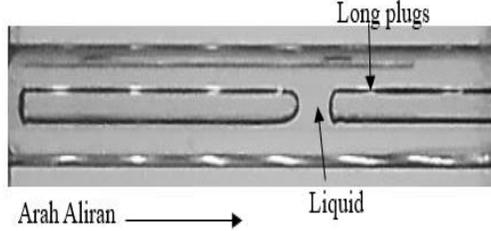
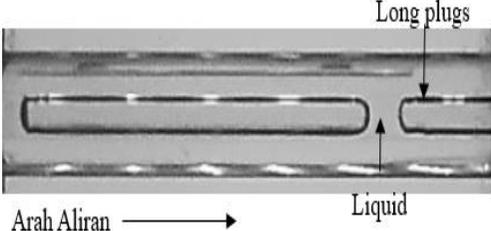
Pola aliran *plug* memiliki bentuk mirip dengan *bubbly* hanya saja aliran ini sedikit memanjang seperti peluru dan panjangnya beragam bentuk. Pola aliran ini biasanya terjadi saat kecepatan superfisial gas dan cairan rendah. Awalnya pola aliran *plug* ini terjadi dengan panjang yang teratur pada  $J_G$  dan  $J_L$  awal namun seiring terjadinya kenaikan superfisial bentuk dari pola aliran *plug* akan berubah.

Mulai terbentuk nya pola aliran *plug* yaitu pada  $J_G = 0,025$  m/s dan  $J_L = 0,033$  m/s. pada keadaan ini aliran *plug* bergerak dengan laju yang cukup konstan tidak berubah – ubah dan kondisi pola aliran *plug* akan berubah seiring dengan dinaikannya kecepatan superfisial gas dan cairan.

Tabel 4.1 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi campuran gliserin 40%, nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,149 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi

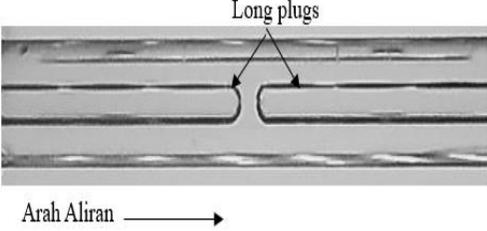
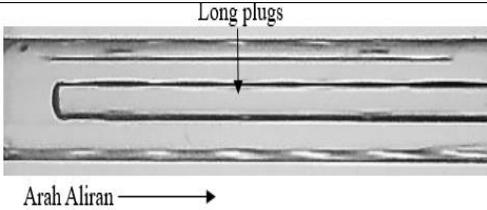
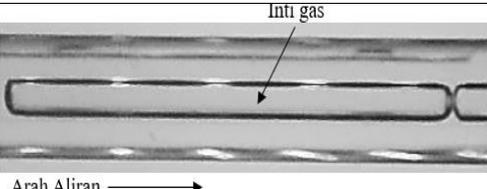
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	0,116 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi campuran gliserin 40%, nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,116 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi

No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,091 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

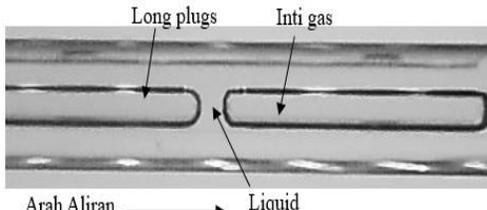
Konsentrasi campuran 40% gliserin nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,116 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi pada kondisi ini pola aliran *plug* memiliki bentuk yang simetris yaitu bulat pada bagian depan dan ekornya. Pola aliran *plug* juga bergerak dengan kecepatan yang konstan dan ketika  $J_L$  tetap yaitu 0,149 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi atau dinaikan bentuk pola semakin panjang dan jarak antar *plug* semakin rapat dan sesekali diikuti dengan munculnya pola aliran *bubble*. Terlihat pada  $J_G = 0,423$  m/s bentuk pola aliran *plug* semakin rapat dan panjang dengan kecepatan yang konstan dan terdapat gelombang pada bagian ekor *plug*. Hal ini disebabkan oleh nilai *kinematic viscosity* yang kecil sehingga pola aliran tidak bisa mempertahankan bentuknya.

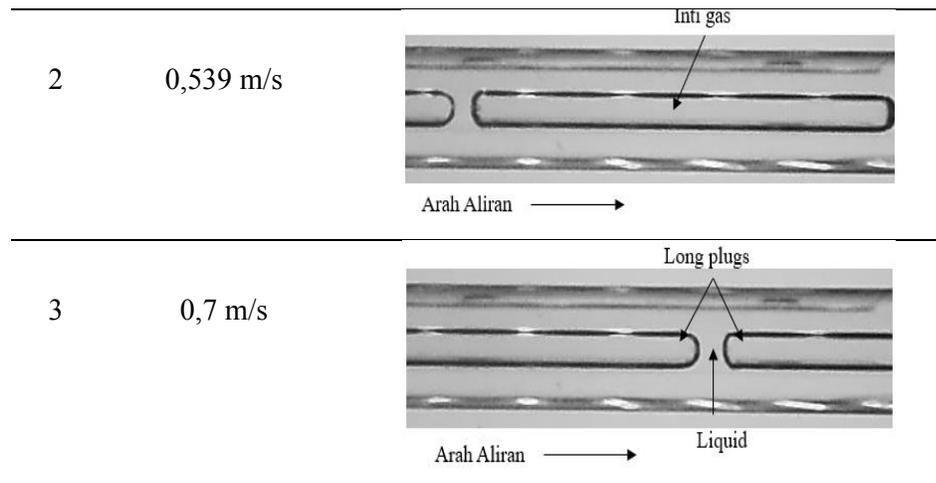
Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi campuran gliserin 50%, nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,232 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi

No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	0,066 m/s	
2	0,116 m/s	
3	0,423 m/s	

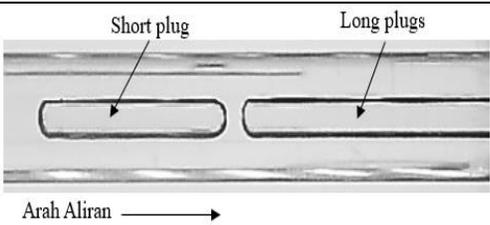
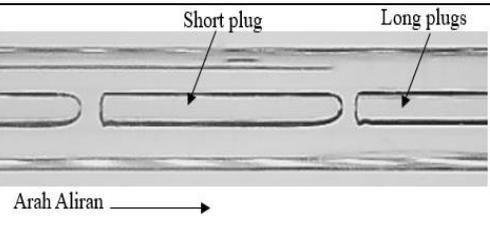
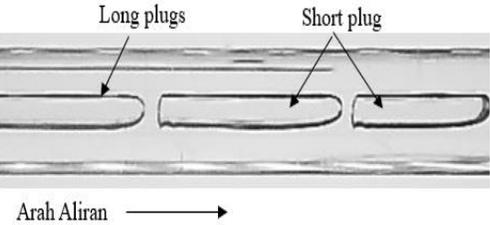
Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan pola aliran *plug* pada campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,232 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi. Peningkatan  $J_G$  membuat bentuk pola aliran *plug* semakin panjang dan jarak antar *plug* semakin rapat bahkan pada nilai  $J_G = 0,423$  m/s terlihat pola aliran *plug* hampir menempel antara satu dengan yang lainnya.

Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi campuran gliserin 50%, nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,207 m/s dan nilai  $J_L$  divariasasi

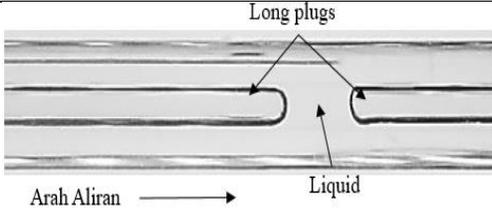
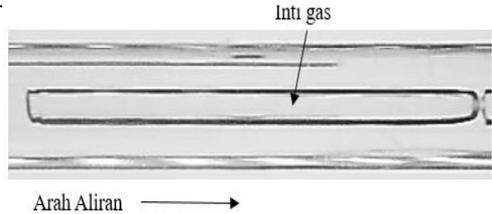
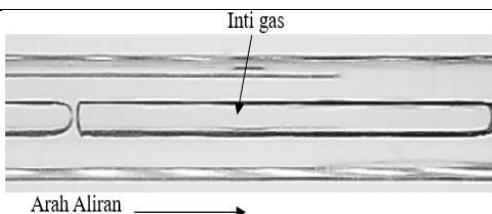
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,232 m/s	



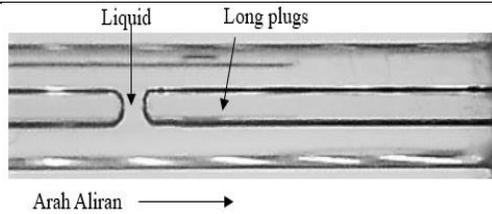
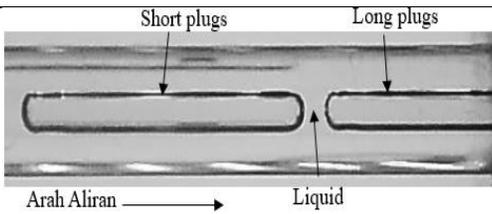
Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi campuran gliserin 60%, nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,539 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi

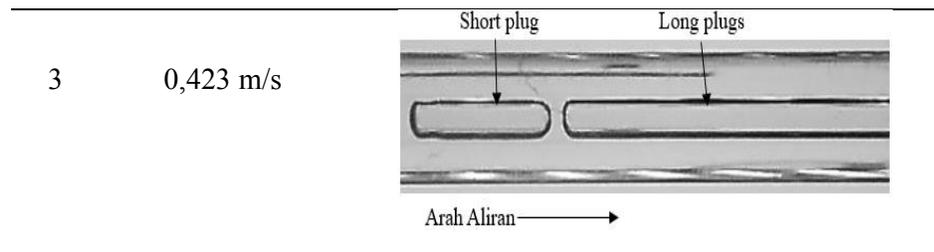
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	0,066 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,871 m/s	

Tabel 4.6 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi campuran gliserin 60%, nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,423 m/s dan nilai  $J_L$  divariasasi

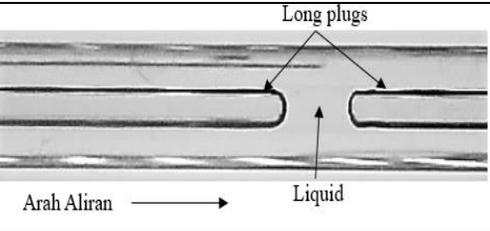
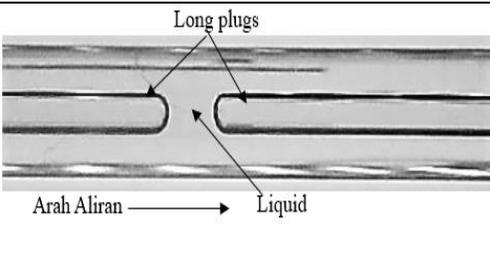
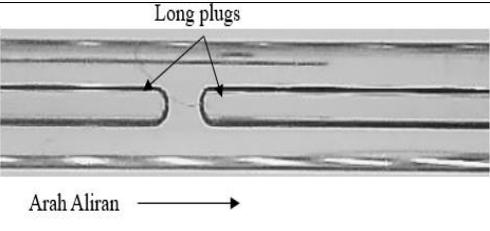
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,232 m/s	
2	0,539 m/s	
3	0,7 m/s	

Tabel 4.7 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi campuran gliserin 70%, nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,7 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi

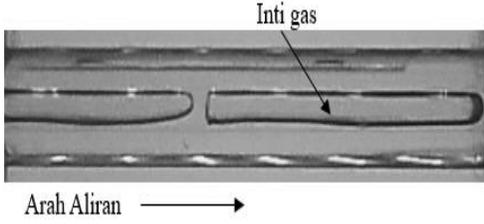
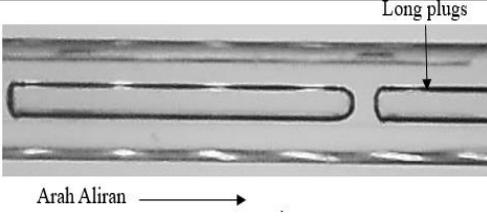
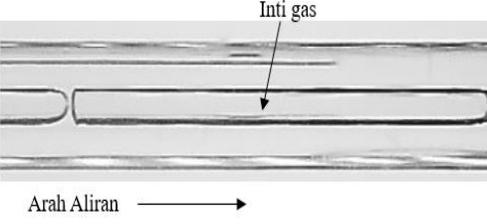
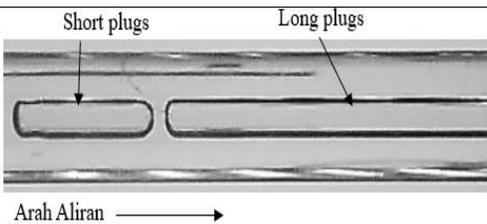
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	0,025 m/s	
2	0,066 m/s	



Tabel 4.8 Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi campuran gliserin 70%, nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,207 m/s dan nilai  $J_L$  divariasasi

No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,091 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

Tabel 4.9 Perbandingan pola aliran *plug* untuk tiap konsentrasi campuran gliserin dengan nilai  $J_L$  0,7 m/s dan nilai  $J_G$  0,423 m/s.

No	Gliserin	Pola Aliran
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

Tabel 4.9 menunjukkan pola aliran *plug* dari berbagai macam konsentrasi pada saat konsentrasi gliserin di tambah,  $J_G$  dan  $J_L$  sama yaitu nilai  $J_L = 0,7$  m/s dan nilai  $J_G = 0,423$  m/s bentuk *plug* mengalami perubahan. Pada konsentrasi campuran 40% terlihat jarak antar *plug* lebih renggang dan ketika viskositas ditingkatkan jarak antar pola aliran *plug* lebih rapat dan bergerak lebih lambat. Viskositas cairan mempengaruhi bentuk dan pergerakan *plug* karena menyebabkan sulitnya udara untuk menembus cairan gliserin yang semakin rapat. Pada konsentrasi yang sama dan sudut yang berbeda bentuk dari pola aliran *plug* sedikit mengalami perbedaan pada campuran sama yaitu

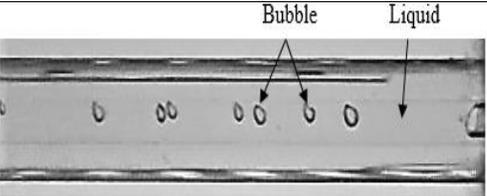
40 sampai 70% menggunakan sudut kemiringan yang lebih kecil bentuk diameter plug relatif sama bagian sisi luar dari *plug* menyentuh dinding pipa, hanya saja terdapat perbedaan pada panjang dan pendeknya pola aliran *plug* serta laju pola aliran. Ini dapat dilihat pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan konsentrasi campuran yang sama dengan sudut yang lebih kecil menunjukkan pola *plug* lebih pendek dan panjangnya pun merata.

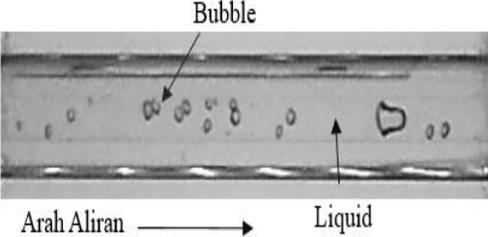
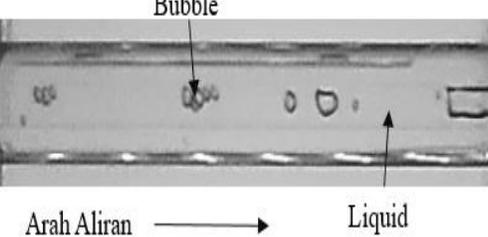
#### 4.1.2 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* terbentuk pada saat kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) rendah antara 0,025 - 1,941 m/s dan kecepatan superfisial air ( $J_L$ ) tinggi antara 2,297 - 4,935 m/s. Pada kondisi ini cairan akan memenuhi ruang *mixer* dan menyebabkan mixer terisi penuh sehingga fluida gas akan menumpuk dan berusaha menembus cairan hal ini menyebabkan terjadinya aliran dua fase. Fluida gas yang telah berhasil menerobos cairan akan terpotong-potong membentuk bulatan-bulatan kecil yang ikut mengalir bersama cairan. Pola aliran *bubble* yang berhasil teramati pada penelitian ini terkadang masih bercampur dengan pola aliran *plug*. Kemunculan pola aliran seperti ini yaitu ketika koordinat kemunculan *bubble* berada setelah nilai koordinat *plug*.

Awal kemunculan pola aliran *bubble* pada penelitian ini ketika  $J_G$  rendah dan  $J_L$  tinggi yaitu pada  $J_G = 0,025$  m/s dan  $J_L = 0,879$  m/s. Perbedaan akan bentuk pola aliran akan terlihat ketika nilai kecepatan superfisial divariasikan.

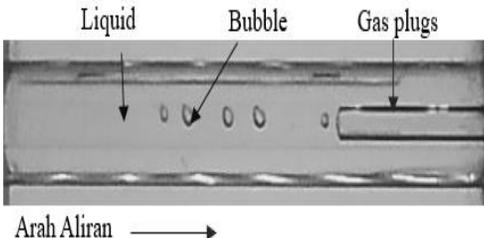
Tabel 4.10 Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi campuran gliserin 40 % dengan nilai  $J_L$  tetap 0,879 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi.

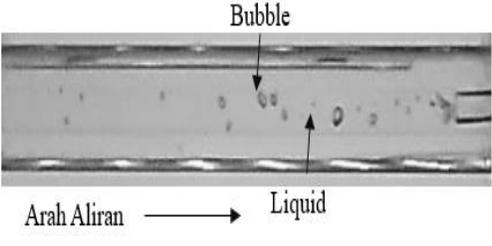
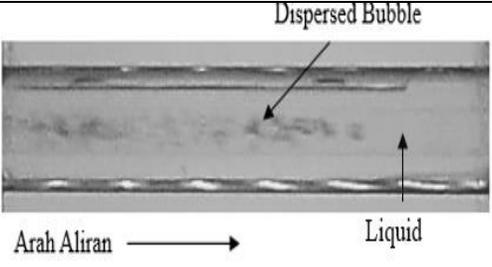
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	0,066 m/s	

2	0,423 m/s	
3	0,871 m/s	

Tabel 4.10 menunjukkan berbagai macam bentuk dari pola aliran *bubble* intensitas kemunculan *bubble* beriringan dan sesekali diikuti dengan aliran *plug*. Pada konsentrasi gliserin 40% aliran *bubble* mulai teramati pada  $J_L = 2,297$  m/s dan  $J_G = 0,025$  m/s. Dalam kondisi campuran 40% ini *bubble* yang berhasil teramati yaitu bulat kecil dengan pergerakannya acak atau naik turun, pada  $J_L = 0,879$  dan  $J_G = 0,066$  dapat terlihat aliran *bubble* satu dengan yang lainnya terdapat jarak yang cukup renggang namun setelah nilai  $J_G$  dinaikan menjadi 0,871 m/s aliran *bubble* akan semakin dekat satu dengan yang lainnya bahkan ada juga yang bergerak menempel dengan *bubble* lainnya. Hal ini dapat disebabkan karena fluks volumetrik gas lebih sedikit dari pada fluks volumetrik larutan.

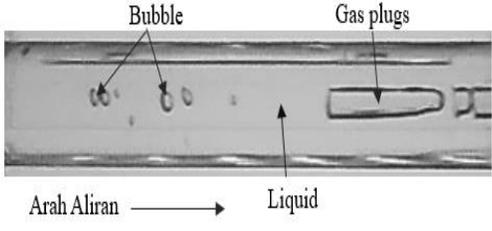
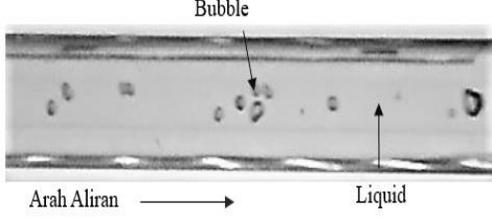
Tabel 4.11 Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi campuran gliserin 40 % dengan nilai  $J_G$  tetap 0,116 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

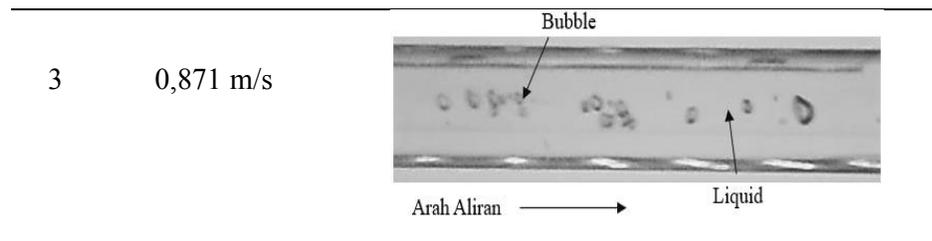
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,879 m/s	

2	2,297 m/s	
3	4,935 m/s	

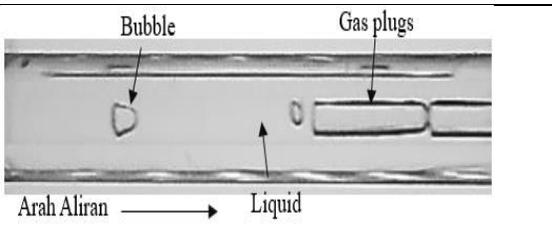
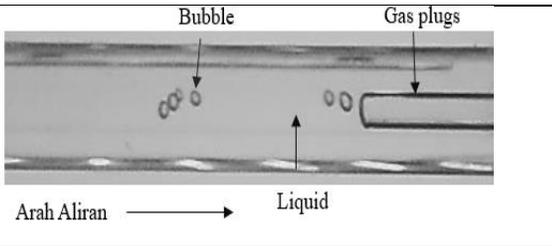
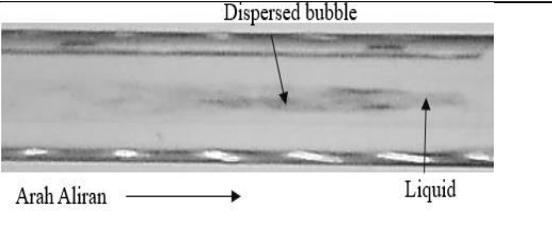
Tabel 4.11 menunjukkan pola aliran *bubble* yang terbentuk dengan variasi  $J_L$  dan nilai  $J_G$  tetap. Ketika nilai  $J_G = 0,016$  m/s dan nilai  $J_L = 0,879$  m/s *bubble* bergerak secara konstan dan beriringan di belakang aliran *plug* namun ketika kecepatan superfisial cairan dinaikan ke 4,935 m/s bentuk dari *bubble* semakin kecil bahkan terdispersi dengan pergerakan yang sangat cepat.

Tabel 4.12 Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_L$  tetap 2,297 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi.

No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	0,066 m/s	
2	0,207 m/s	

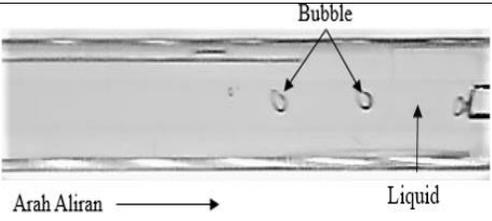
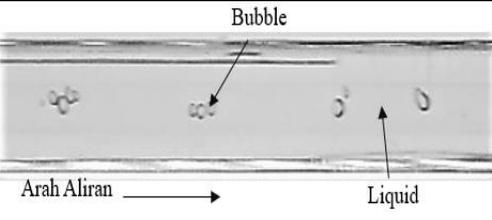
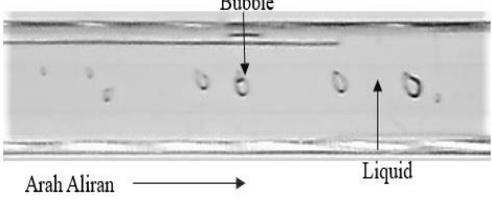


Tabel 4.13 Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,116 m/s dan nilai  $J_L$  divariansi

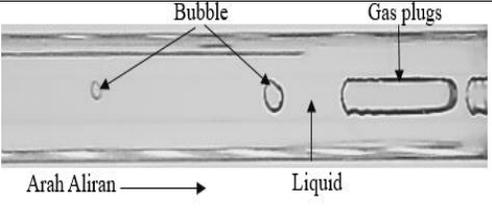
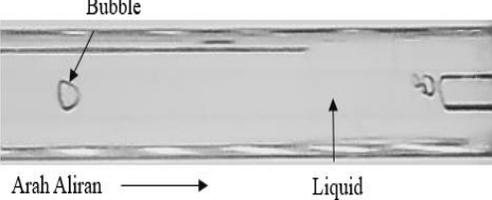
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,879 m/s	
2	2,297 m/s	
3	4,935 m/s	

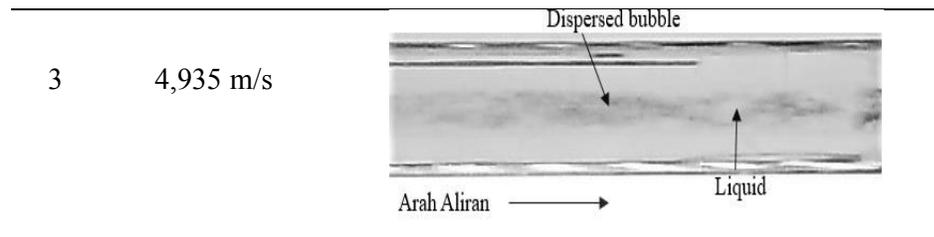
Tabel 4.12 menunjukkan konsentrasi campuran gliserin 50%  $J_L$  tetap 2,297 m/s dan  $J_G$  divariansikan terlihat awalnya pola aliran *bubble* terlihat sedikit namun ketika nilai  $J_G$  ditambah aliran *bubble* bertambah banyak dan bergerak secara rapat antara *bubble* satu dengan yang lainnya. Berbeda dengan  $J_G$  tetap yaitu 0,116 m/s dan nilai  $J_L$  divariansi kemunculan *bubble* tidak begitu banyak.

Tabel 4.14 Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dengan nilai  $J_L$  tetap 2,297 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi.

No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	0,066 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

Tabel 4.15 Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,025 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi

No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,879 m/s	
2	2,297 m/s	

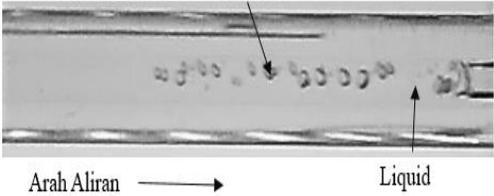
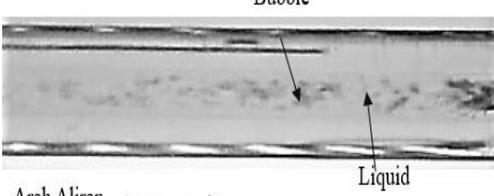


Tabel 4.16 Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi campuran gliserin 70% dengan nilai  $J_L$  tetap 2,297 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi.

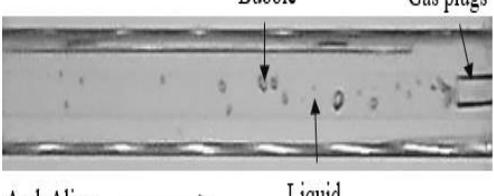
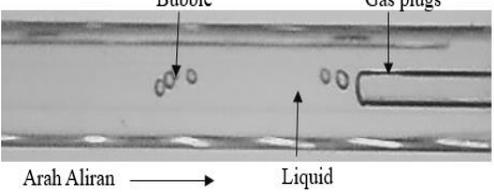
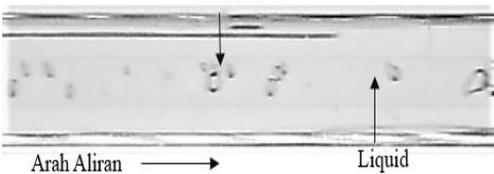
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	0,066 m/s	
2	0,423 m/s	
3	1,941 m/s	

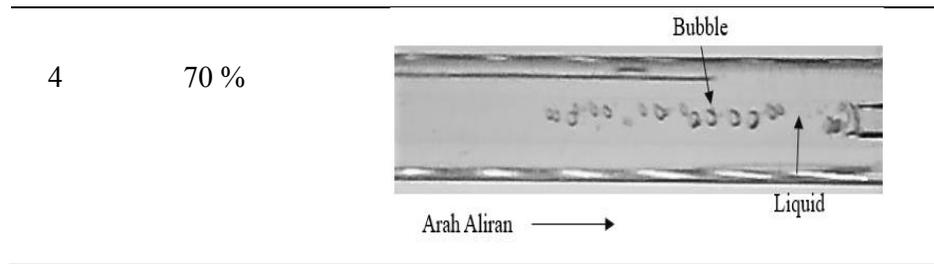
Tabel 4.17 Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi campuran gliserin 70 % dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,116 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,879 m/s	

2	2,297 m/s	
3	4,935 m/s	

Tabel 4.18 Perbandingan pola aliran *Bubble* untuk tiap konsentrasi campuran gliserin dengan nilai  $J_L$  2,297 m/s  $J_G$  0,116 m/s.

No	Gliserin	Pola Aliran
1	40 %	
2	50 %	
3	60 %	

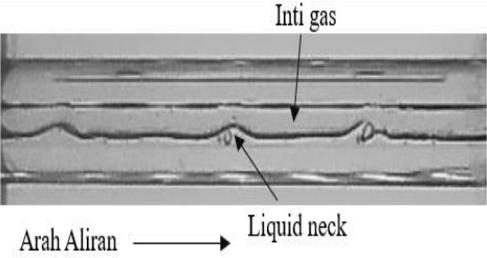
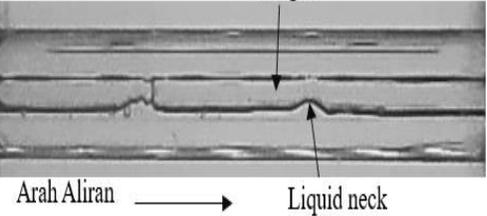
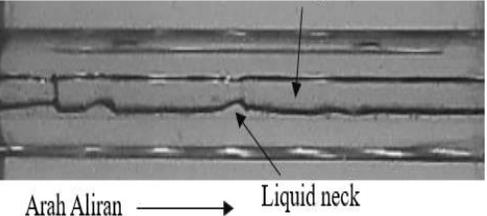


Laju dan jumlah kemunculan *bubble* pada konsentrasi gliserin 0% terlihat bahwa kemunculan *bubble* sedikit lebih besar dan intensitasnya lebih banyak dan bergerak konsisten jarak antar *bubble* pun agak renggang, berbeda ketika konsentrasinya dinaikan pada tabel 4.18 menunjukkan bentuk *bubble* pada campuran gliserin 40-70% dengan menggunakan  $J_G$  dan  $J_L$  yang sama yaitu  $J_L = 2,297$  m/s dan  $J_G = 0,116$  m/s terlihat bentuk *bubble* yang sedikit berbeda, pada campuran gliserin 40% terlihat jarak antar *bubble* sedikit renggang dan ketika konsentrasi campuran ditambah hingga 70% jarak antar *bubble* semakin rapat dan bentuknya semakin kecil pergerakannya pun menjadi acak. Hal ini menunjukkan bahwa viskositas sangat mempengaruhi bentuk dan kemunculan dari *bubble* semakin tinggi nilai viskositas menyebabkan udara sulit untuk memecah atau menembus aliran fluida.

#### 4.1.3 Pola Aliran *Slug-Annular*

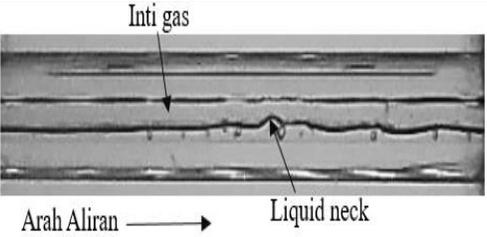
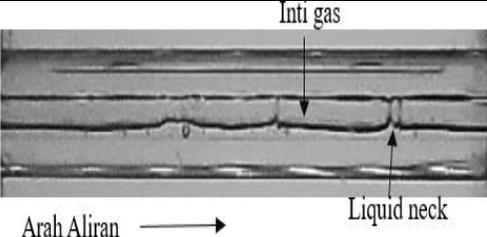
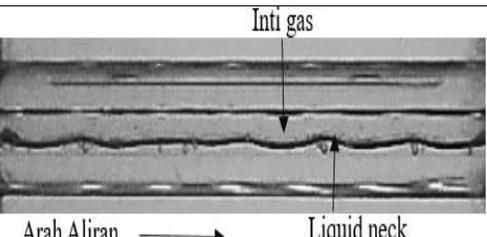
Pola aliran *slug-annular* merupakan suatu pola aliran transisi dari pola aliran *plug* menuju ke pola aliran *annular*. Dimana pola aliran ini terbentuk saat udara mengalir secara kontinyu dan cairan mengalir pada bagian atas dan bawah pipa. Cairan yang mengalir pada bagian bawah lebih tebal dari bagian atas yang disertai munculnya gelombang pada bagian bawah pipa bahkan akibat dari tingginya aliran gas menyebabkan gelombang menyentuh bagian atas pipa. Pola aliran *slug-annular* ini terjadi saat kecepatan superfisial fluida gas ditingkatkan sehingga menyebabkan pola aliran *plug* yang terpisah oleh air berhasil diterobos oleh gas dan terbentuklah aliran *slug-annular*.

Tabel 4.19 Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 40% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,149 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi.

No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	4,238 m/s	 <p>Inti gas</p> <p>Liquid neck</p> <p>Arah Aliran →</p>
2	7 m/s	 <p>Inti gas</p> <p>Liquid neck</p> <p>Arah Aliran →</p>
3	9,62 m/s	 <p>Inti gas</p> <p>Liquid neck</p> <p>Arah Aliran →</p>

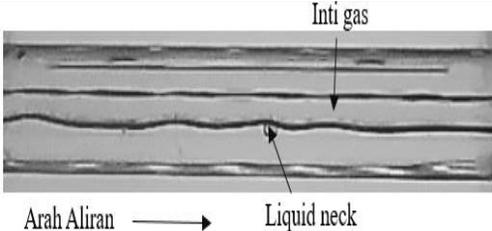
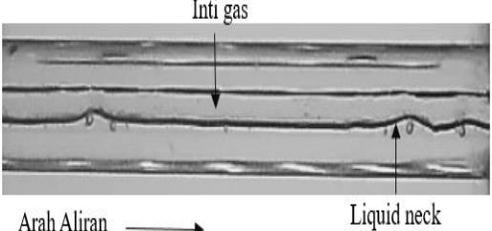
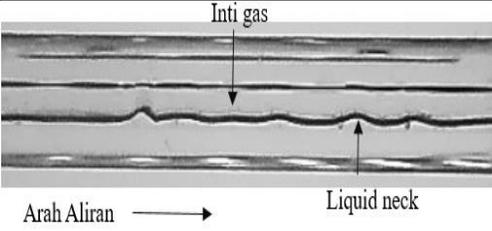
Tabel 4.19 menunjukkan pola aliran *slug-annular* ketika  $J_L$  tetap dan  $J_G$  dinaikan disitu terlihat pada nilai  $J_L$  tetap 0,149 m/s dan nilai  $J_G$  4,238 m/s terlihat pola *slug-annular* bergelombang dan terdapat *frothy bubble*. Pada saat  $J_G$  dinaikan menjadi 9,62 m/s pada aliran *slug-annular* gelombang yang terdapat pada aliran semakin mengecil dan menyerupai aliran pada *annular*. Hal ini terjadi karena aliran gas lebih dominan dari aliran cairan sehingga aliran cairan yang awalnya terlihat memotong aliran dan juga mendorong *slug-annular* mulai terdorong oleh aliran gas yang meningkat dalam kondisi ini aliran *slug-annular* akan sedikit lebih tebal dan bergerak secara berkelanjutan.

Tabel 4.20 Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 40% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 4,238 m/s dan nilai  $J_L$  divariansi

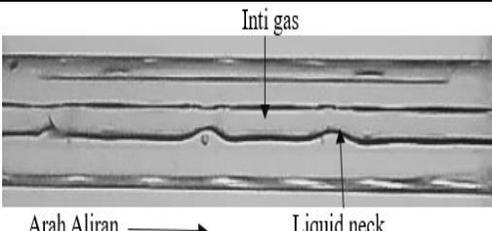
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,091 m/s	 <p>Inti gas</p> <p>Arah Aliran →</p> <p>Liquid neck</p>
2	0,232 m/s	 <p>Inti gas</p> <p>Arah Aliran →</p> <p>Liquid neck</p>
3	0,7 m/s	 <p>Inti gas</p> <p>Arah Aliran →</p> <p>Liquid neck</p>

Tabel 4.20 menunjukkan perbandingan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi gliserin 40% ketika nilai  $J_G$  tetap 4,238 m/s dan nilai  $J_L$  divariansi. Untuk mengetahui perbedaan yang terjadi variasi yang digunakan yaitu 0,091 m/s, 0,232 m/s, dan 0,7 m/s. Perbedaan yang terjadi seiring naiknya nilai  $J_L$  tidak begitu jelas terlihat, namun semakin besar nilai  $J_L$  mengakibatkan gelombang berusaha memutus pola aliran *slug-annular*.

Tabel 4.21 Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,232 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi

No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	3 m/s	
2	7 m/s	
3	9,62 m/s	

Tabel 4.22 Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 4,238 m/s dan nilai  $J_L$  divariasasi

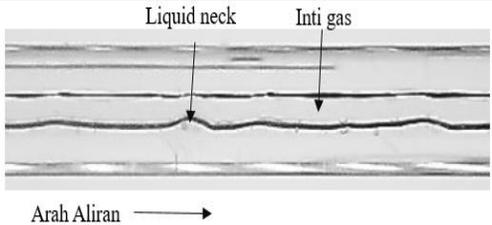
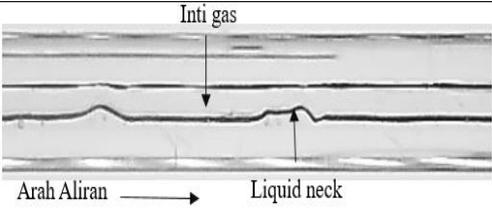
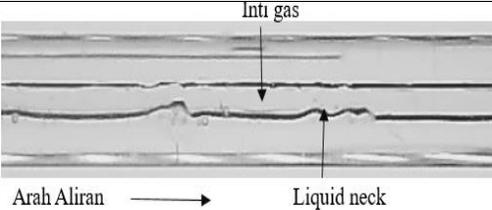
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,091 m/s	

2	0,232 m/s	
3	0,7 m/s	

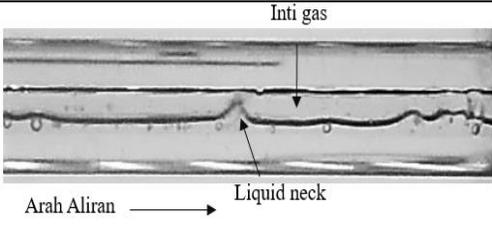
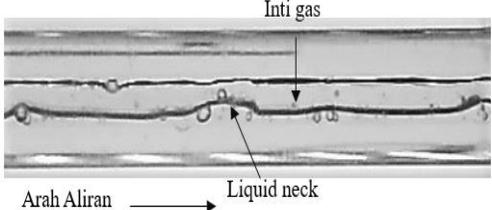
Tabel 4.23 Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,091 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi

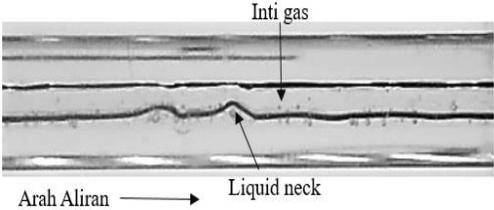
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	4,238 m/s	
2	7 m/s	
3	9,62 m/s	

Tabel 4.24 Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 7 m/s dan nilai  $J_L$  divariasasi

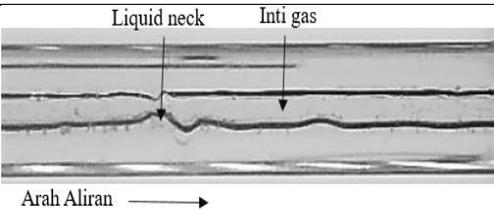
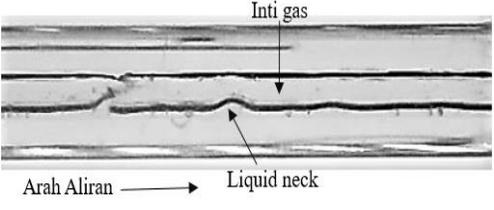
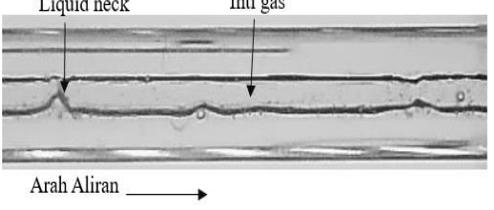
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,149 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

Tabel 4.25 Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 70% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,539 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi

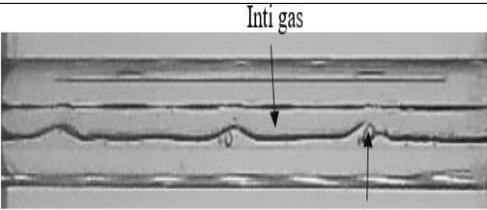
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	3 m/s	
2	4,238 m/s	

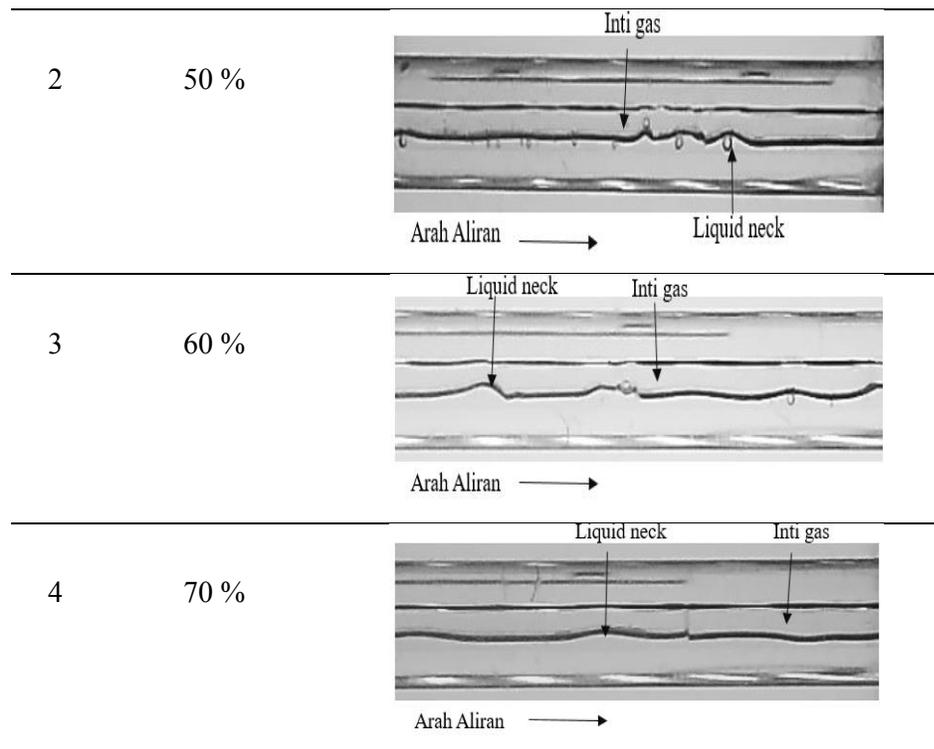
3	7 m/s	
---	-------	--

Tabel 4.26 Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 70% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 9,62 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi

No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,091 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,7 m/s	

Tabel 4.27 Perbandingan pola aliran *slug-annular* untuk tiap konsentrasi campuran gliserin dengan nilai  $J_L$  0,149 m/s  $J_G$  4,238 m/s.

No	Gliserin	Pola Aliran
1	40 %	



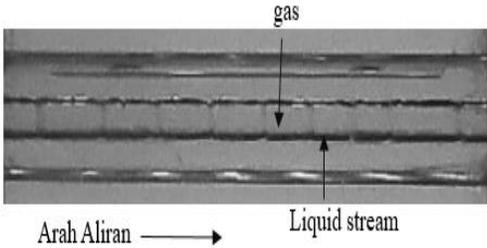
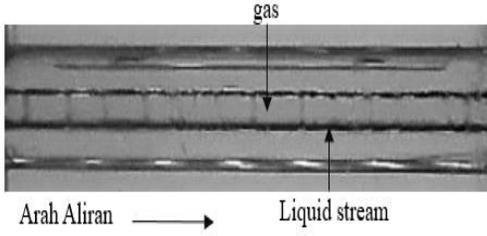
Tabel 4.27 menunjukkan perbandingan pola aliran *slug-annular* pada setiap konsentrasi dengan nilai  $J_L = 0,149$  m/s  $J_G = 4,238$  m/s. Pola aliran *slug-annular* pada campuran gliserin 40 % pertama kali muncul yaitu pada  $J_G = 1,941$  m/s dan  $J_L = 0,033$  m/s. Kemunculan *slug-annular* ini ditandai dengan fluida gas yang berusaha mengganggu pola aliran *plug* dengan cara memutus *plug* dan menyebabkan gelombang pada *plug* panjang. *Frothy bubble* juga sering teramati pada pola aliran *slug-annular* dan sewaktu-waktu akan pecah menjadi gelombang dan membuat kantung udara terpotong seperti yang ditunjukkan pada campuran gliserin 40 sampai 50%. Pada campuran gliserin 70% terlihat gelombang semakin stabil, hal ini disebabkan karena pada campuran 70% gliserin memiliki nilai viskositas yang besar sehingga fluida cair tidak mudah digerakan oleh fluida gas.

Peningkatan viskositas pada larutan akan menyebabkan lapisan cairan akan semakin menebal dan bergerak secara berkelanjutan, sesekali terdapat juga gelombang air yang ingin memutus aliran udara.

#### 4.1.4 Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* juga sering disebut dengan aliran cincin karena pada aliran ini lapisan cairan berada di sekeliling dinding pipa hanya saja lapisan cairan pada bagian bawah lebih tebal dari bagian atas sedangkan fluida gas mengalir pada bagian tengah dari cairan secara terus-menerus. Hal ini dapat terjadi karena nilai fluida gas lebih tinggi dibandingkan dengan fluida cair sehingga gas dapat menembus fluida cair dan akhirnya fluida cair akan mengalir disepanjang dinding pipa. Terbentuknya pola *annular* ini ketika nilai  $J_G = 22,6$  m/s dan  $J_L = 0,033$  m/s. Kemunculan pola aliran *annular* pada setiap konsentrasi selalu sama. Jika dilihat secara kasat mata pada aliran *annular* menyerupai aliran yang tenang, padahal jika diamati secara saksama pada aliran *annular* ini terdapat gelombang kecil yang bergerak sangat cepat.

Tabel 4.28 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 40% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,149 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi

No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	50 m/s	
2	58,05 m/s	

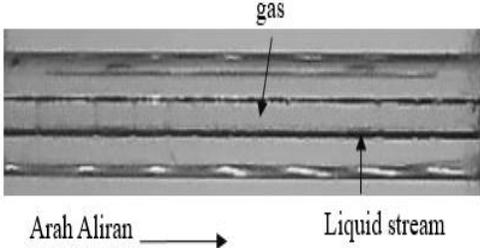
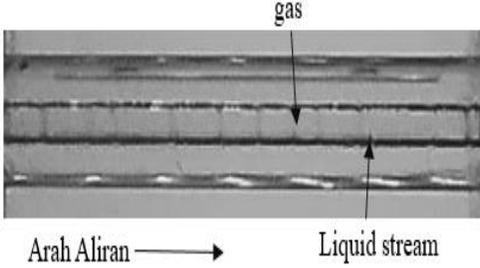
3	66,3 m/s	
---	----------	--

Tabel 4.28 menunjukkan perbandingan pola aliran *annular* dari berbagai nilai  $J_G$  dan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,149 m/s. Pada kondisi  $J_L$  tetap 0,149 dan nilai  $J_G = 50$  m/s terlihat pada aliran *annular* terdapat lapisan cairan yang bergelombang pada bagian tengahnya dan ketika nilai  $J_G$  ditingkatkan menjadi 66,3 m/s lapisan tersebut lambat laun berkurang. Hal ini terjadi karena fluida gas lebih dominan dari pada fluida cair, sehingga fluida gas akan mendorong fluida cair akibatnya fluida cair akan mengalir pada sisi dinding pipa. Semakin dinaikannya kecepatan superfisial gas mengakibatkan aliran *annular* jauh lebih tenang.

Kenaikan kecepatan superfisial gas  $J_G$  berpengaruh terhadap berkurangnya riak pada semua konsentrasi campuran yang diujikan. Dari semua konsentrasi gliserin efek yang ditimbulkan dari naiknya  $J_G$  yaitu sama, mengakibatkan kemunculan riak air semakin berkurangnya.

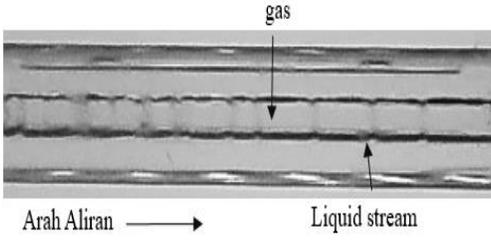
Tabel 4.29 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 40% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 66,3 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

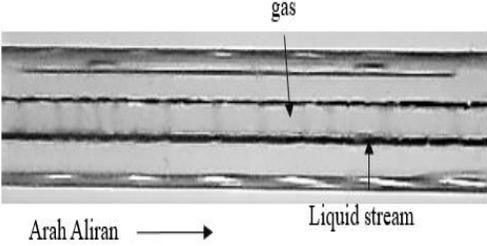
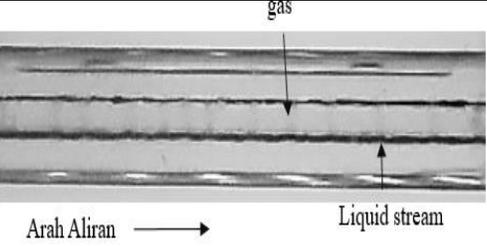
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,033 m/s	

2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

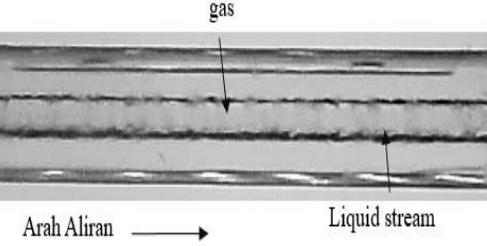
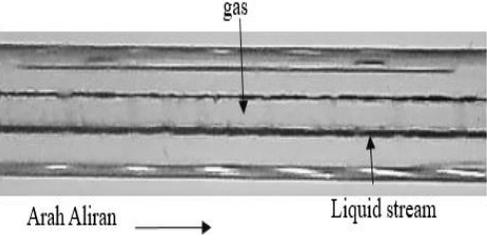
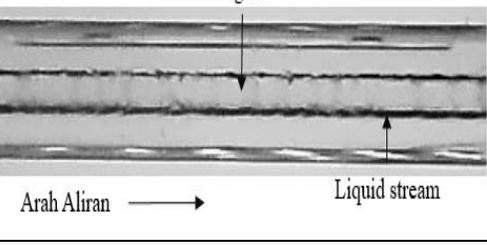
Tabel 4.29 menunjukkan perbandingan pola aliran *annular* pada konsentrasi campuran gliserin 40%  $J_G$  tetap yaitu 66,3 m/s dan  $J_L$  divariasi. Pada  $J_L = 0,539$  m/s gelombang atau riak air yang muncul pada sisi atas dan bawah lebih jelas terlihat dari pada  $J_L = 0,232$  m/s. Hal ini disebabkan aliran fluida cair yang mengalir pada bagian atas dan bawah semakin bertambah debitnya sehingga fluida cair yang terdorong gas semakin banyak.

Tabel 4.30 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,149 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi

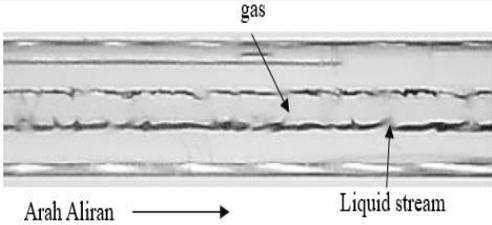
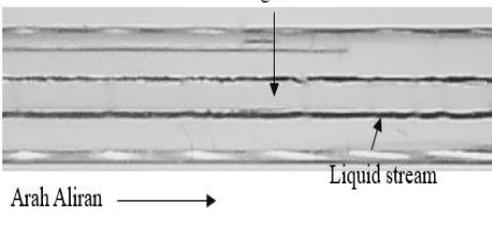
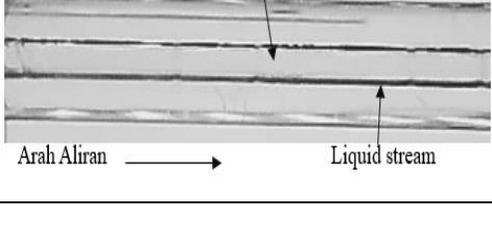
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	50 m/s	

2	58,05 m/s	
3	66,3 m/s	

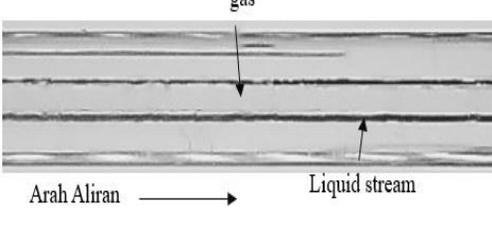
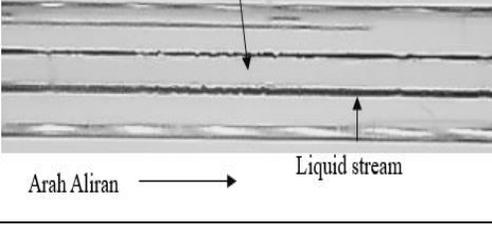
Tabel 4.31 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 66,3 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

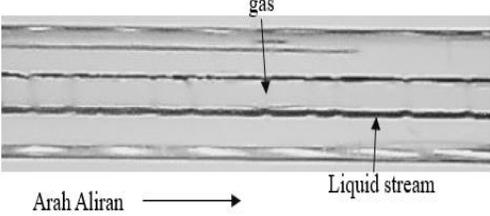
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,033 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

Tabel 4.32 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,149 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi

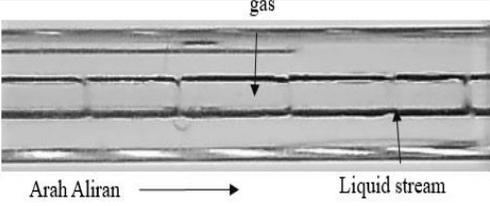
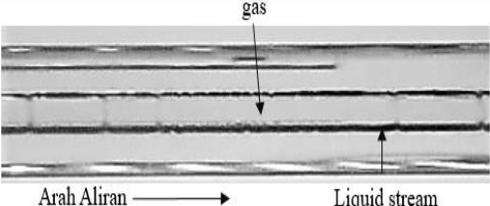
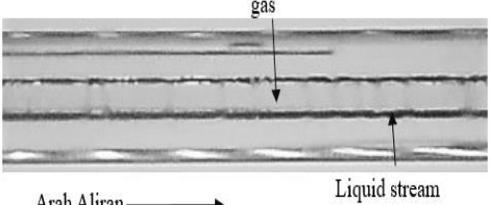
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	50 m/s	 <p>gas</p> <p>Arah Aliran → Liquid stream</p>
2	58,05 m/s	 <p>gas</p> <p>Arah Aliran → Liquid stream</p>
3	66,3 m/s	 <p>gas</p> <p>Arah Aliran → Liquid stream</p>

Tabel 4.33 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 66,3 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

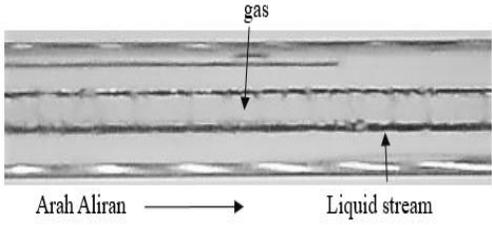
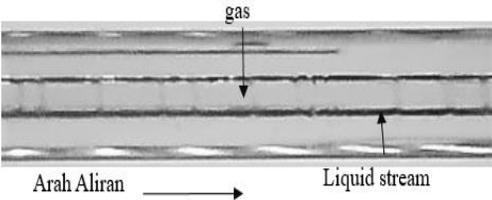
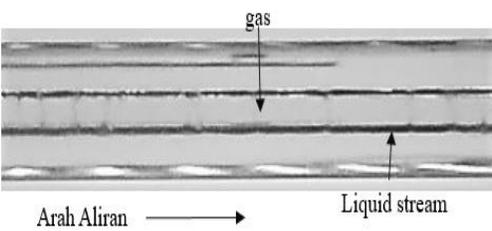
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,033 m/s	 <p>gas</p> <p>Arah Aliran → Liquid stream</p>
2	0,232 m/s	 <p>gas</p> <p>Arah Aliran → Liquid stream</p>

3	0,539 m/s	
---	-----------	--

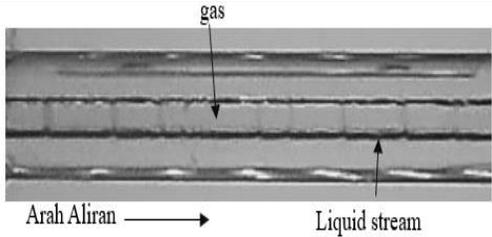
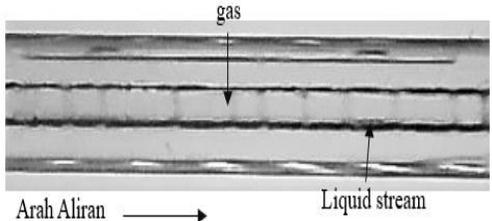
Tabel 4.34 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 70% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,149 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi

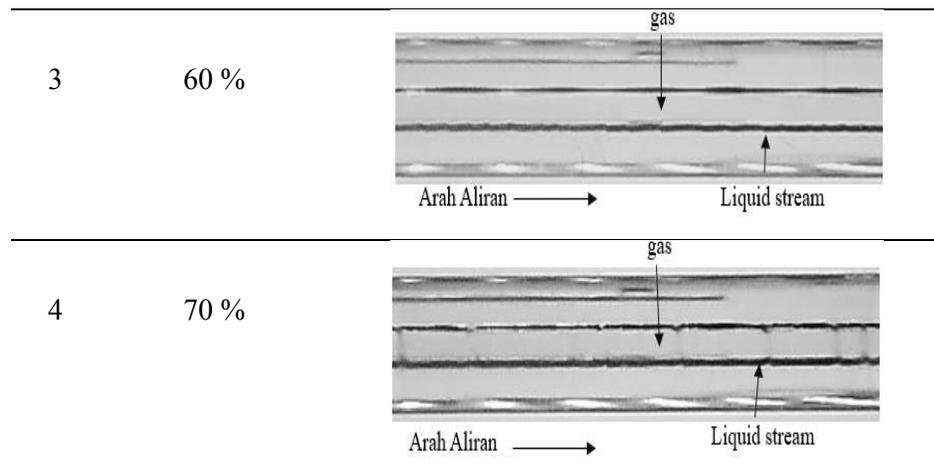
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	50 m/s	
2	58,05 m/s	
3	66,3 m/s	

Tabel 4.35 Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi campuran gliserin 70% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 66,3 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	0,033 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

Tabel 4.36 Perbandingan pola aliran *annular* untuk tiap konsentrasi campuran gliserin dengan nilai  $J_L$  0,539 m/s  $J_G$  58,05 m/s.

No	Gliserin	Pola Aliran
1	40 %	
2	50 %	



Tabel 4.36 menunjukkan perbandingan pola aliran *annular* pada tiap campuran konsentrasi dengan nilai  $J_L=0,539$  m/s dan  $J_G=58,05$  m/s. Kenaikan viskositas sangat berpengaruh terhadap bentuk pola aliran *annular* semakin besar nilai viskositas larutan terlihat riak cairan pada tengah aliran *annular* semakin berkurang. Kenaikan viskositas juga berdampak pada kecepatan aliran yang semakin melambat, perbedaan yang jelas yaitu terjadi pada campuran 40% dan 70%.

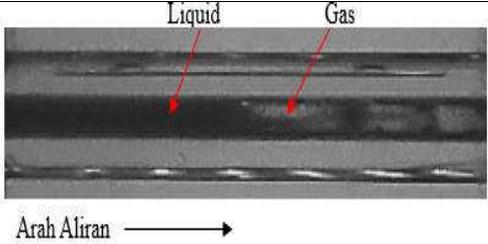
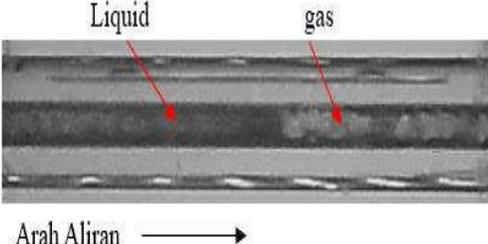
Pola aliran *annular* adalah pola aliran yang terbentuk dari kecepatan superfisial gas yang lebih tinggi dari kecepatan superfisial cairan sehingga fluida cair akan terdorong disisi atas dan bawah aliran.

#### 4.1.5 Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* ini terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial gas dan superfisial cairan sama-sama tinggi, dimana pada kondisi ini membuat aliran gas dan aliran cairan mengalir secara acak. Dengan meningkatnya volume gas dan cairan pada aliran *annular* membuat aliran fluida cair yang mengalir pada dinding pipa semakin menebal dan fluida gas yang semula mengalir secara konstan menjadi terganggu oleh aliran fluida cair yang sangat besar. Seharusnya ketika jumlah volume larutan yang mengalir cukup tinggi akan terbentuk pola aliran *plug*, namun akibat laju fluida gas yang tinggi membuat larutan terdispersi menjadi ukuran yang sangat kecil dan mengalir dengan

kecepatan tinggi. Dalam hal ini maka yang terlihat hanya bayangan hitam pada inti udara yang diselimuti oleh aliran fluida cair.

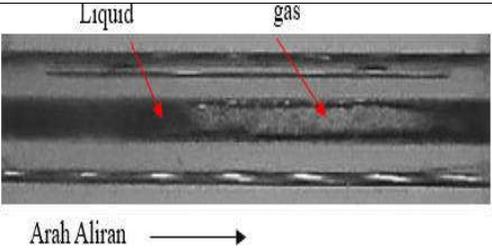
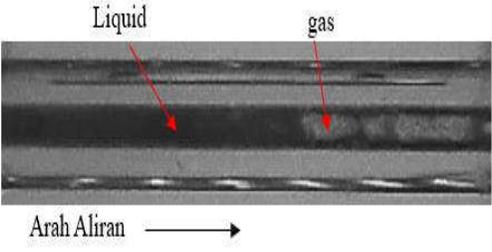
Tabel 4.37 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi campuran gliserin 40% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 2,297 m/s dan nilai  $J_G$  divariasasi

No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	50 m/s	
2	66,3 m/s	

Tabel 4.37 menunjukkan pola aliran *churn* dengan memvariasikan kecepatan superficial gas  $J_G$  dengan  $J_L$  tetap yaitu 2,297 m/s. Semakin naiknya nilai  $J_G$  terlihat aliran gas lebih dominan, pada  $J_G=66,3$  m/s bayangan hitam terlihat tidak terlalu pekat jika dibandingkan dengan  $J_G=50$  m/s. Bayangan hitam yang semakin berkurang dengan bertambahnya nilai  $J_G$  menunjukkan bahwa aliran fluida gas lebih dominan pada pola aliran *churn*.

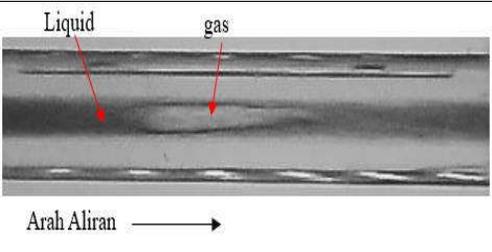
Bertambahnya nilai  $J_G$  membuat aliran yang semula didominasi oleh bayangan hitam berupa air. Aliran air yang semula ditunjukkan oleh bayangan hitam yang hitam pekat berangsur semakin berkurang.

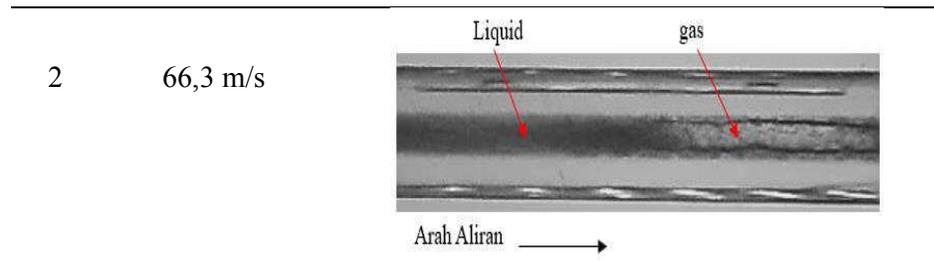
Tabel 4.38 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi campuran gliserin 40% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 22,6 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

Tabel 4.38 menunjukkan perbandingan pola aliran *churn* pada konsentrasi 40% gliserin terlihat ketika kondisi nilai  $J_G$  tetap yaitu 22,6 m/s dan nilai  $J_L = 2,297$  m/s pola aliran *churn* memiliki bayangan hitam yang tidak terlalu pekat berbeda ketika nilai  $J_G$  tetap dan nilai  $J_L$  dinaikan menjadi 4,935 m/s bayangan hitam pada pola aliran *churn* menjadi pekat. Hal ini dipengaruhi oleh meningkatnya kecepatan superfisial cairan sehingga cairan lebih dominan dari fluida gas. Semakin tinggi  $J_L$  bayangan hitam akan semakin terlihat dominan.

Tabel 4.39 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 2,297 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi.

No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	50 m/s	

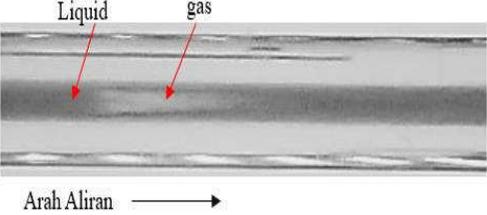


Tabel 4.40 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi campuran gliserin 50% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 22,6 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

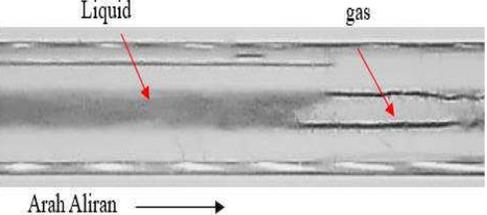
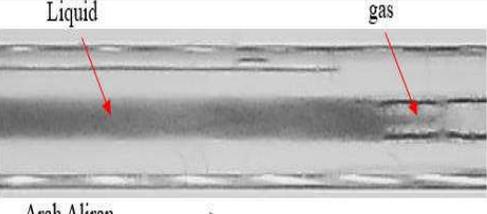
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

Tabel 4.41 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 2,297 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi.

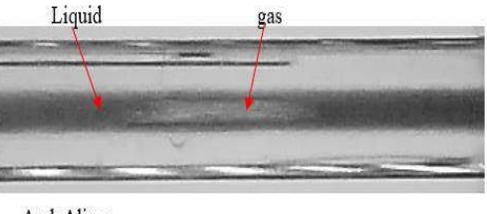
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	50 m/s	

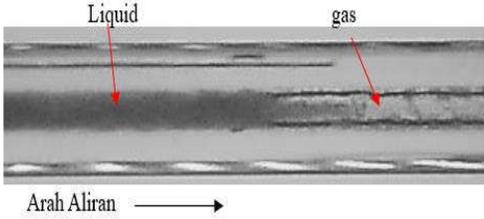
2	66,3 m/s	
---	----------	--

Tabel 4.42 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi campuran gliserin 60% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 22,6 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

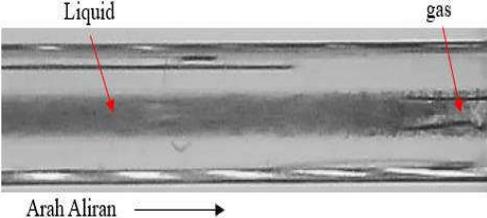
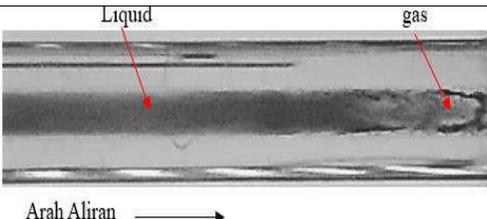
No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

Tabel 4.43 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi campuran gliserin 70 % dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 2,297 m/s dan nilai  $J_G$  divariasi.

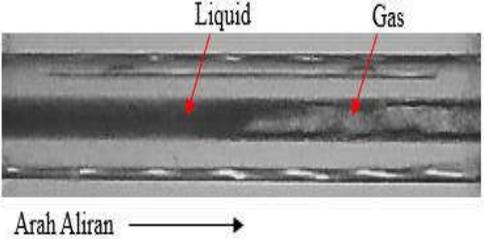
No	Nilai $J_G$	Pola Aliran
1	50 m/s	

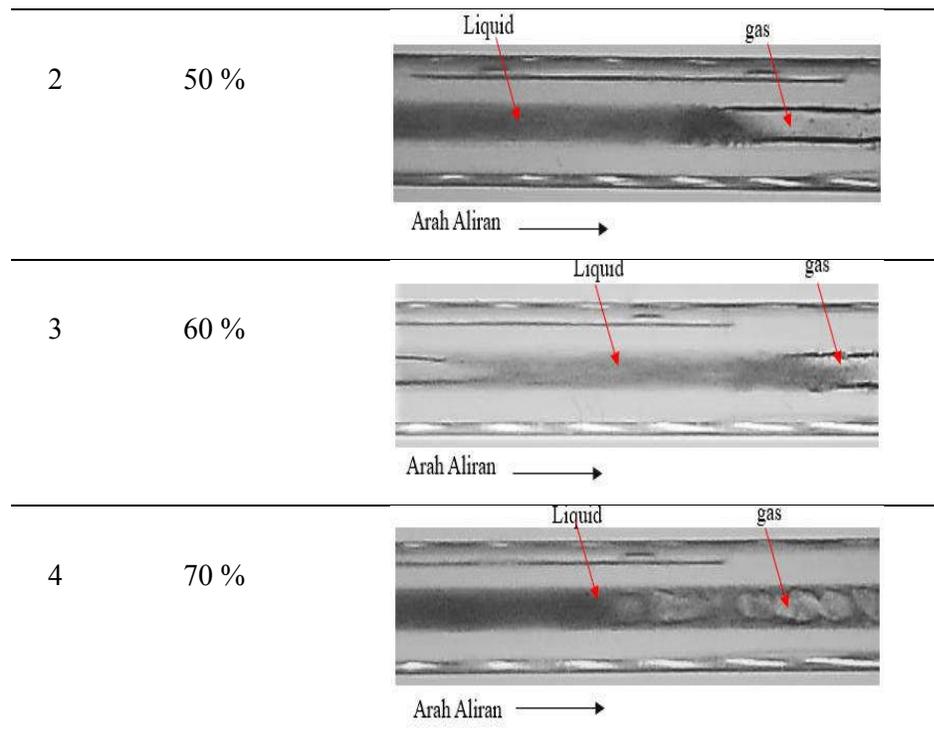
2	66,3 m/s	 <p>Liquid</p> <p>gas</p> <p>Arah Aliran →</p>
---	----------	--

Tabel 4.44 Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi campuran gliserin 70 % dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 22,6 m/s dan nilai  $J_L$  divariasi.

No	Nilai $J_L$	Pola Aliran
1	2,297 m/s	 <p>Liquid</p> <p>gas</p> <p>Arah Aliran →</p>
2	4,935 m/s	 <p>Liquid</p> <p>gas</p> <p>Arah Aliran →</p>

Tabel 4.45 Perbandingan pola aliran *churn* untuk tiap konsentrasi campuran gliserin dengan nilai  $J_L$  2,297 m/s  $J_G$  58,05 m/s.

No	Gliserin	Pola Aliran
1	40 %	 <p>Liquid</p> <p>Gas</p> <p>Arah Aliran →</p>

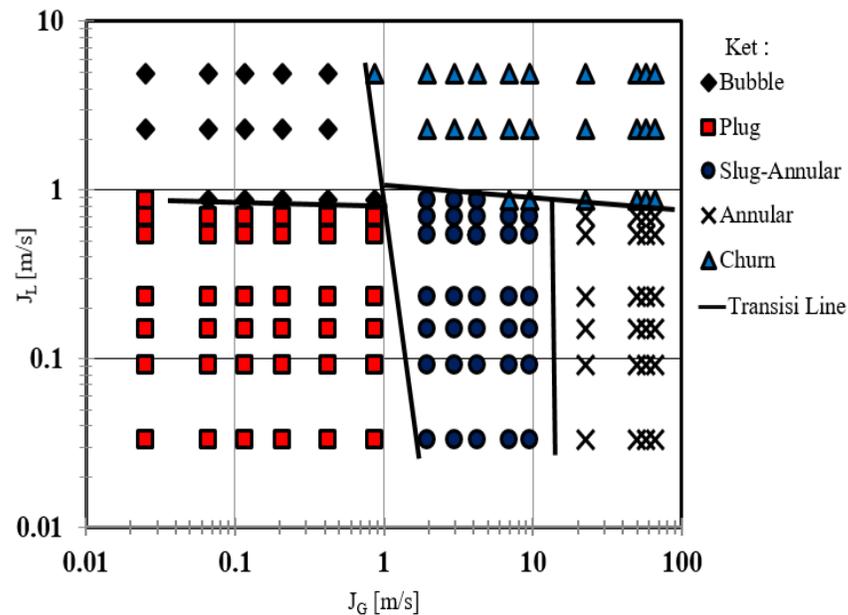


Tabel 4.45 menunjukkan perbedaan pola aliran *churn* dari berbagai kekentalan larutan yang berbeda. Pada konsentrasi gliserin 60% dan 70% dampak dari kenaikan viskositas dengan nilai  $J_G$  dan  $J_L$  tetap terlihat kecepatan aliran yang muncul lebih lambat dari pada campuran yang memiliki viskositas lebih rendah. Dari hasil yang didapat menunjukkan semakin tinggi nilai viskositas larutan maka bayangan hitam pada pola aliran *churn* semakin berkurang. Hal ini dipengaruhi oleh semakin rendahnya nilai tegangan permukaan pada campuran gliserin 70%. Berbeda dengan campuran gliserin 40% pada kondisi ini bayangan hitam terlihat sangat pekat.

#### 4.1.6 Peta Pola Aliran

Dari hasil pengamatan dan identifikasi yang telah dilakukan kemudian selanjutnya dipetakan kedalam sebuah peta pola aliran. Dari penelitian ini banyak nya data yang diambil adalah 144 data dengan variasi  $J_G = 0 - 66,3$  m/s dan variasi  $J_L = 0,033 - 4,935$  m/s yang selanjutnya akan diplot menggunakan koordinat  $J_L$  sebagai sumbu y dengan nilai minimum nya 0,01 m/s dan maksimum 10 m/s sedangkan untuk  $J_G$  sebagai sumbu x dengan nilai

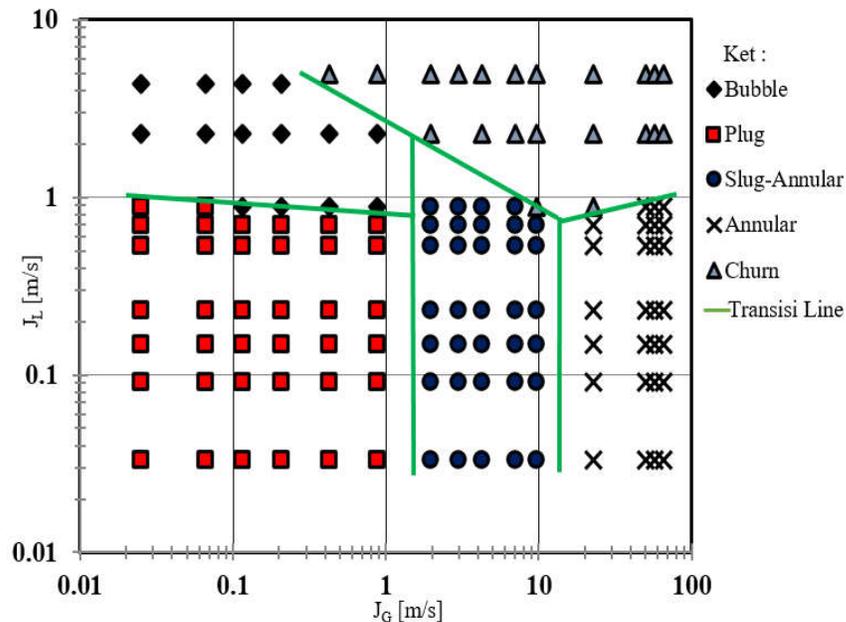
minimum 0,01 m/s dan nilai maksimum nya 100 m/s. Pada pembuatan peta pola aliran ini menggunakan skala logaritmik agar jarak antar pola aliran lebih rapat. Dan pada peta pola aliran yang terbentuk juga digambarkan garis transisi fungsi dari garis transisi ini yaitu untuk memisahkan atau untuk menunjukkan kombinasi pola aliran mana saja yang berubah dari satu pola ke pola yang lainnya.



**Gambar 4.1** Peta Pola Aliran Pada Campuran Gliserin 40 %

Gambar 4.1 menunjukkan peta pola aliran yang terbentuk pada campuran 40% gliserin. Dapat dilihat bahwa pola aliran *plug* lebih mendominasi dari pada pola aliran yang lain nya mulai terbentuk nya pola aliran ini ketika nilai  $J_G$  dan  $J_L$  rendah yaitu pada  $J_G=0,025$  m/s dan  $J_L=0,033$  m/s yang kemudian akan meluas seiring dengan dinaikannya nilai kecepatan superficial gas dan cairan. Dan pada sisi atas dari pola aliran *plug* terdapat pola aliran *bubble* yang mulai terbentuk ketika nilai  $J_G$  rendah dan nilai  $J_L$  tinggi yaitu pada  $J_G=0,025$  m/s dan  $J_L=2.297$  m/s. Kemudian pada sisi kanan dari pola aliran *plug* terdapat pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada  $J_G = 1,941$  m/s – 9,62 m/s dan  $J_L=0,033$  m/s – 0,879 m/s. Dan kemudian setelah ditingkatkan

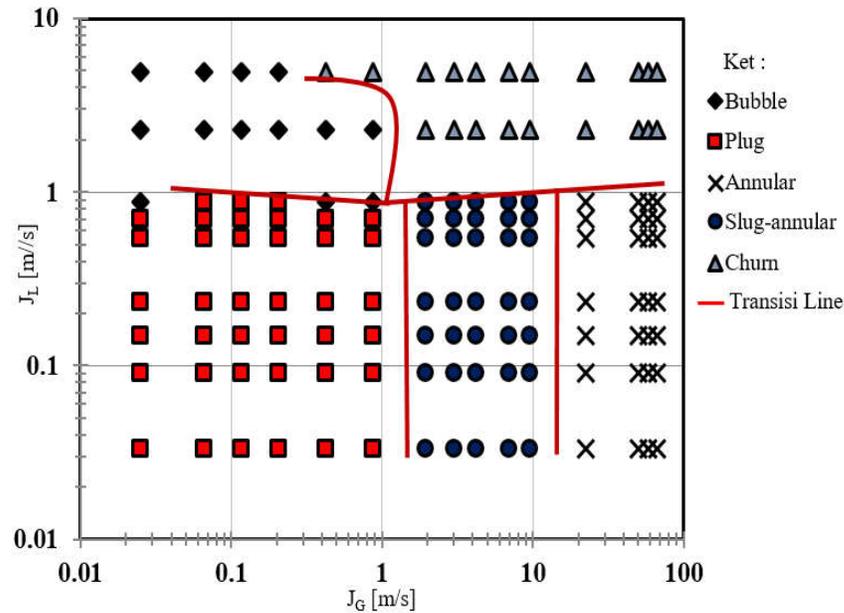
nya kecepatan superfisial gas dengan kecepatan superfisial cairan sama seperti pola aliran *slug-annular* maka terbentuklah pola aliran *annular* atau ketika nilai  $J_G$  tinggi dan  $J_L$  rendah yang ditunjukkan pada sisi paling kanan bagian bawah dengan  $J_G=22,6$  m/s – 66,3 m/s dan  $J_L=0,033$  m/s – 0,7 m/s. Dan terakhir pola aliran *churn* yang ditunjukkan pada bagian sisi kanan paling atas yang artinya pola ini terbentuk pada nilai  $J_G$  dan  $J_L$  tinggi yaitu pada  $J_G=0,871$  m/s – 66,3 m/s dan  $J_L=0,879$  m/s – 4,935 m/s.



**Gambar 4.2** Peta Pola Aliran Pada Campuran Gliserin 50 %

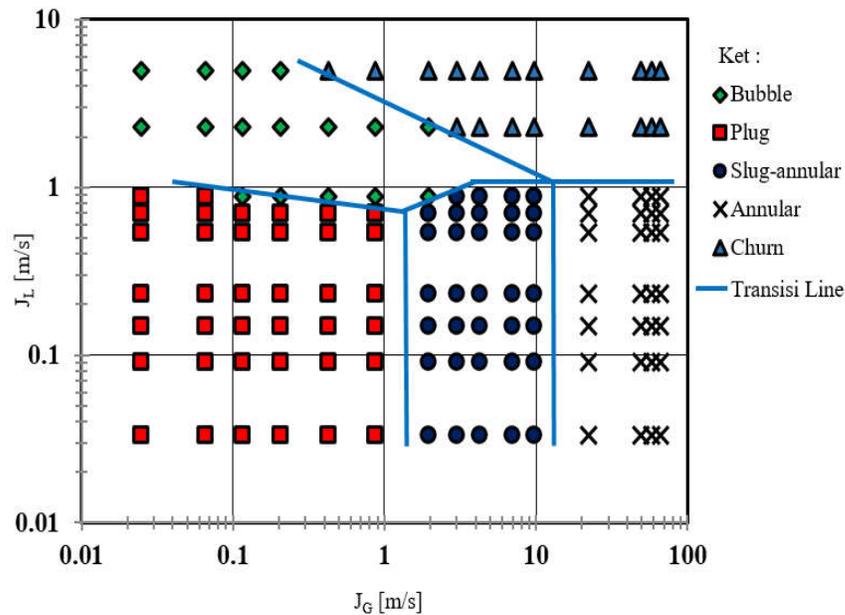
Gambar 4.2 menunjukkan bentuk peta pola aliran pada campuran 50% gliserin. Peta pola aliran diatas menunjukkan bahwa aliran *plug* masih tetap mendominasi sedangkan pola *bubble* hanya sedikit berkurang yang diakibatkan karena terdesak oleh naiknya garis transisi pola aliran *plug*. Dan pada  $J_G=1,941$  m/s pola aliran *slug-annular* sudah mulai terbentuk, pada campuran ini terlihat pola aliran *slug-annular* terlihat sampai  $J_L= 0,879$  m/s. Kemudian pada kecepatan superfisial gas  $J_G=0,423$  m/s dan kecepatan superfial cairan  $J_L=4.935$  m/s pola aliran *churn* sudah mulai terbentuk dan kemunculan pola aliran *churn* ini terjadi ketika nilai kecepatan superfisial gas

dan cairan sama-sama tinggi. Pada  $J_G=22,6$  dan  $J_L=0,033$  m/s pola aliran *annular* sudah mulai terbentuk hingga pada  $J_L=0,879$  m/s dan jika kecepatan superfisial cairan ditambah lagi maka pola aliran *annular* akan berubah ke *churn*.



**Gambar 4.3** Peta Pola Aliran Pada Campuran Gliserin 60 %

Gambar 4.3 diatas menunjukkan peta pola aliran pada campuran gliserin 60% terlihat pola aliran *churn* semakin naik dan mengalami pergeseran ke arah kiri dan kanan dan dengan naik nya pola aliran churn ini juga mempengaruhi kenaikan pada pola aliran *slug-annular* dan *annular*. Hal ini dapat dilihat dari bergesernya posisi pola aliran *churn* ke atas, pola aliran churn pada konsentrasi gliserin 60% mulai terbentuk pada  $J_G=0,423$  m/s dan  $J_L=4,935$  m/s sedangkan pada garis transisi antara pola aliran *plug* dan *bubble* juga mengalami sedikit pergeseran keatas namun tidak terlalu signifikan dan mengakibatkan kemunculan pola aliran *bubble* semakin merata, pada konsentrasi gliserin 60 % posisi mulai terbentuk nya pola aliran *bubble* yaitu pada  $J_G=0,025$  m/s dan  $J_L=0,879$  m/s dan berakhir pada  $J_G=0,871$  m/s dan  $J_L=2,297$  m/s.



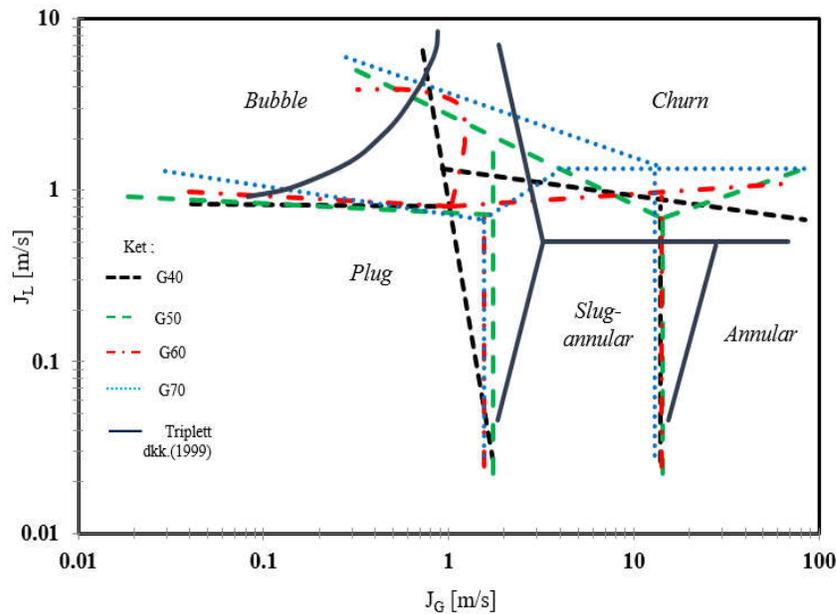
**Gambar 4.4** Peta Pola Aliran Pada Campuran Gliserin 70 %

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa seiring meningkatnya konsentrasi pada campuran gliserin intensitas kemunculan pola aliran *bubble* semakin bertambah ini dapat terlihat pada garis transisi pola aliran *bubble* yang semakin bergeser ke arah kanan hingga pada kecepatan superfisial gas  $J_G=1,941$  m/s dan  $J_L=2,297$  m/s. Pada konsentrasi 70% juga terdapat pola aliran *plug* yang masih terbentuk hingga pada kecepatan superfisial cairan tinggi yaitu pada  $J_L=2,297$  m/s dan  $J_G$  rendah 0,025 m/s. Namun pada pola aliran *slug-annular* dan *annular* masih terlihat tidak ada perubahan dengan yang konsentrasi gliserin sebelumnya begitupun dengan pola aliran *churn* kemunculannya masih tetap pada  $J_G=0,423$  m/s dan  $J_L=4,935$  m/s.

#### 4.1.7 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan peta pola aliran terhadap penelitian terdahulu perlu dilakukan, tujuan perbandingan ini yaitu untuk mengetahui konsistensi penelitian serta perbedaan yang terjadi dan perubahan garis transisi yang disebabkan oleh perubahan parameter dan metode yang digunakan dalam

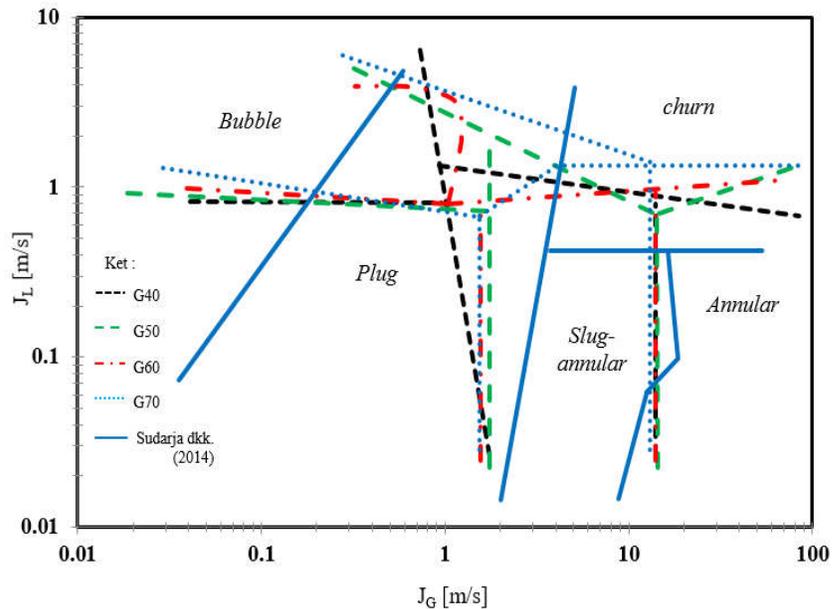
pengujian. Peta pola aliran yang dijadikan perbandingan adalah Triplett dkk. (1999) dan Sudarja dkk. (2014).



**Gambar 4.5** Perbandingan Peta Pola Aliran dan garis transisi dengan hasil penelitian Triplett dkk. (1999)

Perbandingan peta pola aliran untuk perubahan viskositas dan sudut kemiringan dibandingkan dengan hasil peta pola aliran milik Triplett dkk. (1999). Penelitian yang dilakukan oleh Triplett dkk (1999) tentang aliran dua fase menggunakan pipa mini berdiameter 1,097 mm dan 1,45 mm, dan media yang digunakan adalah campuran antara air dan udara. Pada gambar 4.5 menunjukkan perbandingan peta pola aliran pada pipa mini berdiameter 1,097 mm, dari hasil perbandingan peta pola aliran diatas menunjukkan bahwa terjadi perbedaan pada garis transisi. Pada garis transisi *plug*, *slug-Annular* dan *Annular* bergeser kearah kanan hal ini menunjukkan kemunculan pola aliran *plug* lebih luas dan kemunculan pada pola aliran *Slug-Annular* dan *Annular* pada  $J_G$  yang lebih tinggi. Sedangkan garis transisi pada *Churn* yang lebih bergeser kebawah menandakan kemunculan *churn* berawal pada  $J_L$  yang lebih rendah serta garis transisi *Bubble* bergeser lebih keatas menandakan kemunculan *Bubble* pada  $J_L$  yang lebih tinggi dari penelitian ini. Terjadinya

perbedaan terhadap garis transisi yang muncul disebabkan karena perbedaan pada metode yang digunakan.



**Gambar 4.6** Perbandingan Peta Pola Aliran dan garis transisi dengan hasil penelitian Sudarja dkk. (2014)

Perbandingan peta pola aliran pada penelitian Sudarja dkk. (2014) dalam penelitian ini menggunakan alat dan metode yang serupa perbedaannya hanya kemiringan sudut dan perbedaan viskositas. Pada penelitian Sudarja dkk.(2014) fluida cair yang digunakan berupa air sedangkan penelitian ini menggunakan campuran air dan gliserin dengan konsentrasi gliserin 40% - 70%. Pada pola aliran *plug* terlihat tidak ada garis pembatas pada bagian atasnya yang menandakan bahwa aliran *plug* masih teramati pada  $J_L$  tinggi sedangkan pada *Slug-Annular* dan *Annular* terlihat garis transisi lebih menyempit dari aliran *plug* yang menunjukkan kemunculan pola aliran tersebut lebih sedikit dibandingkan dengan aliran *plug*. Garis transisi pada *churn* bergeser lebih kebawah hal ini menandakan kemunculan *churn* lebih awal atau pada  $J_L$  lebih rendah, sedangkan garis transisi pada pola aliran *Bubble* bergeser kearah kiri menandakan kemunculan *Bubble* pada  $J_L$  tinggi.