

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian aliran dua fasa pada pipa mini dengan kemiringan 30° terhadap posisi horizontal dengan fluida kerja campuran aquades-gliserin dan udara meliputi: pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran dari masing masing konsentrasi gliserin dan perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu.

4.1 Pola Aliran

Penelitian aliran dua fasa pada pipa mini horizontal dengan ukuran diameter 1,6 mm telah dilakukan. Fluida kerja yang digunakan adalah campuran aquades-gliserin dan udara dengan variasi 40% gliserin, 50% gliserin, 60% gliserin dan 70% gliserin. Dengan mengatur debit fluida gas dan debit fluida cair kemudian dilakukan pengambilan data berupa video yang kemudian diamati pola aliran yang terbentuk. Pola aliran yang sudah diamati kemudian dipetakan dalam koordinat berdasarkan kecepatan superfisial. Variasi perubahan viskositas ditambahkan dalam penelitian ini untuk mengetahui perubahan pola aliran seiring dengan perubahan viskositas pada fluida cair.

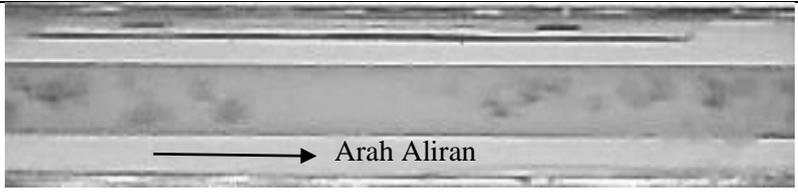
Dari hasil pengamatan didapatkan lima pola aliran yaitu: *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*.

4.1.1 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* terjadi ketika kecepatan superfisial udara rendah dan kondisi kecepatan superfisial cairan tinggi. Pada saat debit air besar cairan akan memenuhi ruang mixer sebelum mengalir menuju pipa sementara udara akan memenuhi sisi atas mixer. Laju fluida cair akan mendominasi pipa pada awalnya kemudian aliran udara masuk ke dalam pipa yang kemudian aliran fluida cair tadi akan berusaha di terobos oleh aliran udara di dalam pipa.

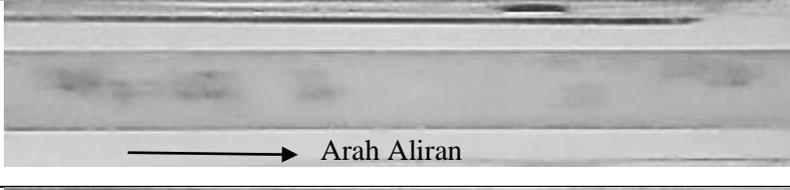
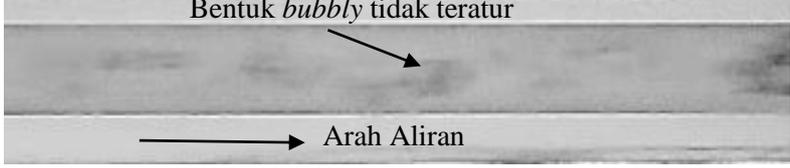
Pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 40% mulai teramati pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s. Pada kondisi ini *bubbly* yang teramati berbentuk bulat dengan hidung yang runcing dan ukuran lebih kecil dari diameter dalam pipa dalam tabel 4.1 dapat dilihat variasi bentuk pola aliran *bubbly* gliserin 40% dengan J_G 0,025 (tetap) dan J_L bervariasi.

Tabel 4.1 Pola aliran *bubbly* Gliserin 40% dengan $J_G = 0,025$ dengan J_L bervariasi

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

Dapat dilihat perbandingan bentuk *bubbly* dengan kondisi J_G tetap dan J_L yang bervariasi pada tabel 4.1, kondisi *bubbly* pada saat $J_L = 0,025$ m/s terlihat memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dari diameter dalam pipa, dengan bentuk bulat dan terdapat beberapa aliran *bubbly* yang mengambang pada bagian atas pipa. Seiring dengan dinaikannya kecepatan superficial cairan pada $J_L = 4,935$ m/s terlihat bahwa kecepatan superficial cairan membuat aliran *bubbly* semakin berkurang pada bagian bawah pipa.

Tabel 4.2 Pola aliran bubbly gliserin 40% dengan $J_L = 2,297$ dan J_G bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,116 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

Dapat dilihat perbandingan bentuk pola *bubbly* dengan $J_L = 2,297$ m/s dengan J_G bervariasi dalam tabel 4.1. Pada saat *bubbly* berada pada J_G 0,116 m/s terlihat bahwa jumlah *bubbly* yang sedikit dan berukuran kecil seiring dengan naiknya kecepatan superfisial udara pada $J_G = 0,207$ m/s terlihat jumlah *bubbly* yang meningkat dan memiliki jarak yang jauh antara satu dengan yang lainnya, selanjutnya pada $J_G = 0,423$ m/s terlihat bahwa jarak antar *bubbly* satu dengan *bubbly* lainnya menjadi semakin dekat, hal ini dikarenakan kecepatan udara yang semakin cepat dalam mendorong sebuah aliran membuat jarak antar *bubbly* semakin dekat.

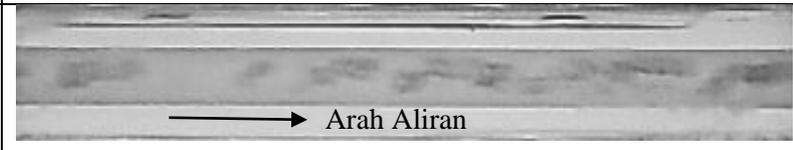
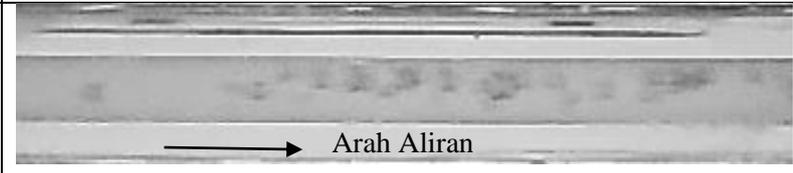
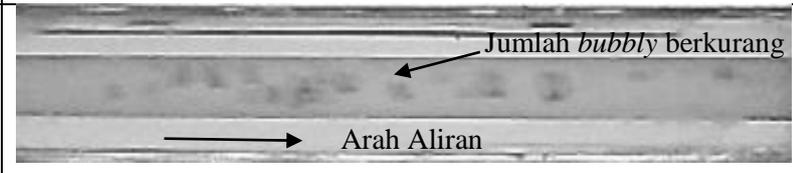
Pola aliran *bubbly* pada konsentrasi gliserin 50% mulai teramati pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s.

Tabel 4.3 Pola aliran *bubbly* Gliserin 50% dengan $J_G = 0,025$ dengan J_L bervariasi

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

Dalam tabel 4.3 menunjukkan pola aliran *bubbly* dengan $J_G = 0,025$ m/s dan J_L yang bervariasi. Pada $J_L = 2,297$ m/s *bubbly* yang teramati berukuran lebih kecil dari diameter dalam pipa dan aliran *bubbly* yang mengambang pada bagian tengah pipa. Sementara pada $J_L = 4,935$ m/s *bubbly* yang teramati menjadi semakin kecil ukurannya dari sebelumnya.

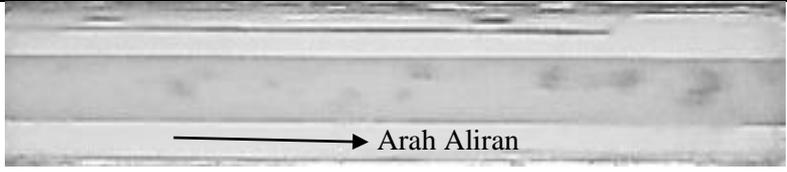
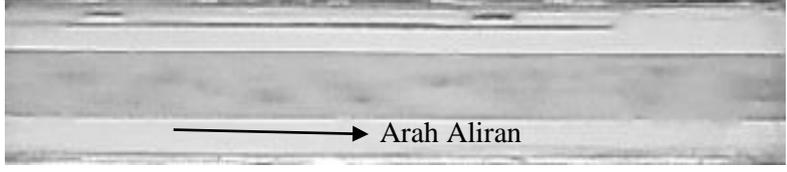
Tabel 4.4 Pola aliran bubbly gliserin 50% dengan $J_L = 2,297$ dan J_G bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,066 m/s	
3	0,207 m/s	

Apabila kecepatan superfisial udara dinaikan maka ukuran *bubbly* semakin mengecil dan jarak antar bubbly relatif sama dengan jumlah *bubbly* yang semakin berkurang, seperti terlihat pada tabel 4.4.

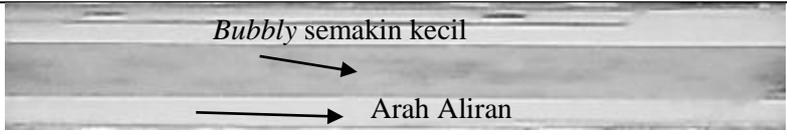
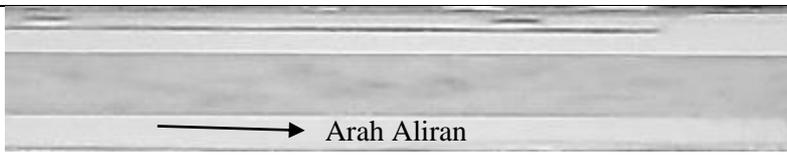
Pola aliran *bubbly* pada konsentrasi gliserin 60% mulai teramati pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s.

Tabel 4.5 Pola aliran *bubbly* Gliserin 60% dengan $J_G = 0,025$ dengan J_L bervariasi

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

Dalam tabel 4.5 menunjukkan perbandingan aliran bubbly dengan $J_G = 0,025$ m/s dan J_L yang bervariasi. Pada kecepatan superfisial air 2,297 m/s ukuran bubbly menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan aliran bubbly dengan gliserin 50%. Pada saat kecepatan superfisial air dinaikan menjadi 4,935 m/s kondisi bubbly menjadi lebih kecil dan jumlahnya bertambah.

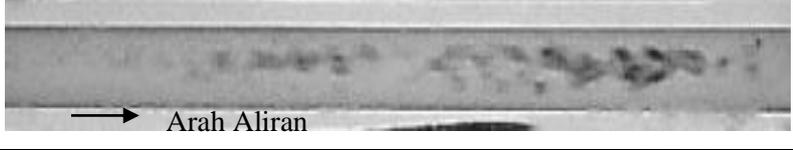
Tabel 4.6 Pola aliran *bubbly* gliserin 60% dengan $J_L = 2,297$ m/s dan J_G bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,066 m/s	
3	0,116 m/s	

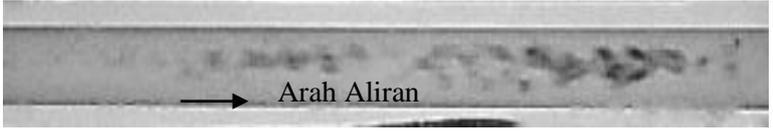
Pada saat kecepatan superfisial udara ditambahkan *bubbly* menjadi terpecah dan bergerak semakin cepat dengan ukuran *bubbly* yang semakin kecil hal ini terjadi karena kecepatan superfisial udara yang semakin besar mengakibatkan *bubbly* menjadi terpecah dan bergerak semakin cepat, seperti terlihat pada perbandingan bentuk aliran *bubbly* dengan $J_L = 2,297$ m/s dan J_G yang bervariasi dalam tabel 4.6.

Sedangkan pada konsentrasi gliserin 70% *bubbly* terlihat pada $J_G = 0,025$ m/s, namun *bubbly* baru teramati pada kecepatan superfisial air $J_L = 4,935$ m/s seperti terlihat pada perbandingan bentuk aliran *bubbly* dengan $J_L = 4,935$ m/s dan J_G yang bervariasi pada tabel 4.7. terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan superfisial gas menyebabkan pola aliran *bubbly* yang semakin kecil.

Tabel 4.7 Pola aliran bubbly gliserin 70% dengan $J_L = 4,935$ m/s dan J_G yang bervariasi

NO	JG	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

Tabel 4.8 Pola aliran *bubbly* gliserin (40, 50, 60, dan 70%) dengan J_G dan J_L yang bervariasi

NO	GLISERIN	GAMBAR POLA ALIRAN
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

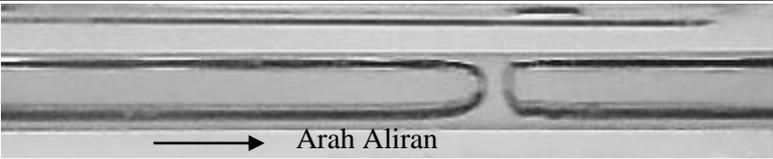
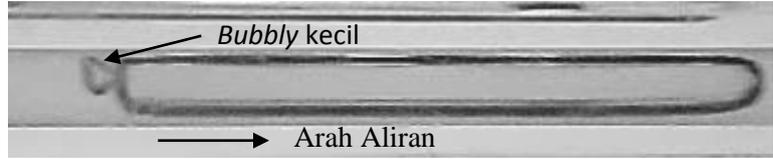
Pengaruh kenaikan konsentrasi gliserin di setiap percobaan ini memberi dampak pada bentuk pola aliran *bubbly* yang semakin mengecil disetiap kenaikan konsentrasi gliserinnya.

4.1.2 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. Sama halnya dengan mekanisme pembentukan *bubbly*, udara yang telah menerobos aliran fluida cair akan terpotong oleh tegangan permukaan fluida cair. Dalam penelitian ini bentuk *plug* terpengaruh oleh kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial cair, semakin besar nilai kecepatan superfisial gas maka aliran *plug* menjadi semakin panjang, jika kecepatan superfisial cair semakin besar maka aliran *plug* akan semakin pendek, konsentrasi gliserin juga turut mempengaruhi bentuk dari pola aliran *plug* ini, semakin tinggi konsentrasi gliserin maka pola aliran *plug* semakin memendek.

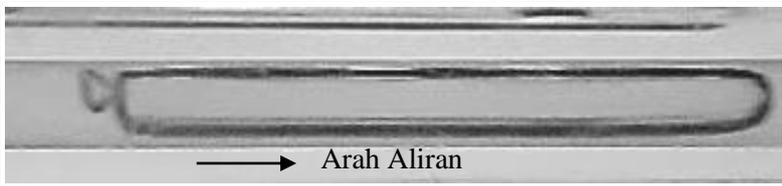
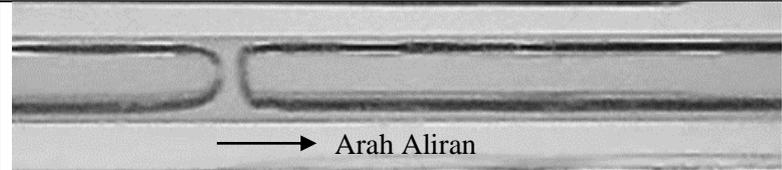
Pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 40% mulai teramati pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,003$ m/s.

Tabel 4.9 Pola aliran *plug* Gliserin 40% dengan $J_G = 0,025$ m/s dan J_L yang bervariasi

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,539 m/s	
3	0,879 m/s	

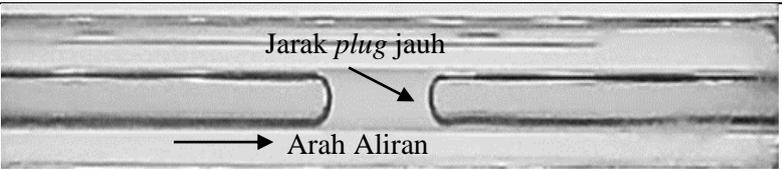
Pada tabel 4.9 terlihat bahwa semakin bertambahnya nilai kecepatan superfisial cair dalam suatu aliran maka bentuk *plug* semakin memendek dan bentuk hidung yang semakin meruncing yang diikuti oleh *bubbly* kecil.

Tabel 4.10 Pola aliran *plug* Gliserin 40% dengan $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,423 m/s	
3	0,871 m/s	

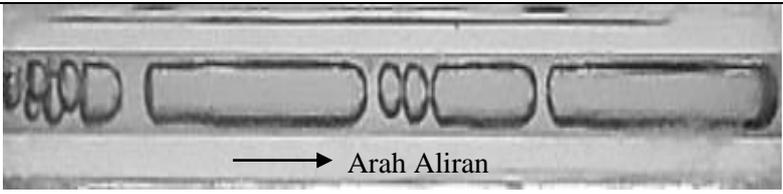
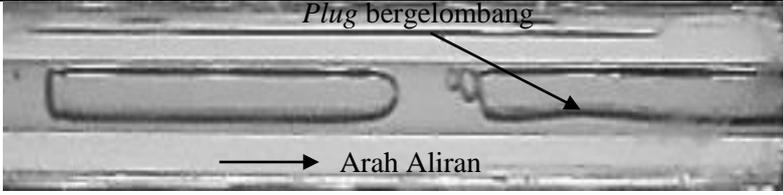
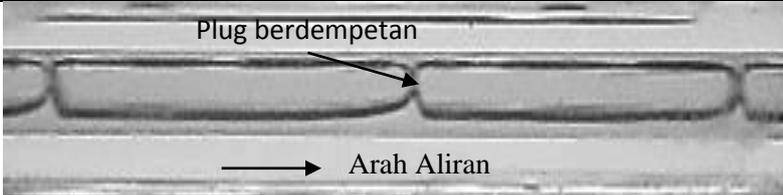
Pada tabel 4.10 terlihat dengan semakin naiknya kecepatan superfisial gas maka *plug* yang teramati menjadi panjang dan bentuk hidung yang bulat, akan tetapi bentuk ekor yang semakin mengecil.

Tabel 4.11 Pola aliran *plug* Gliserin 50% dengan $J_G = 0,025$ m/s dan J_L yang bervariasi

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,539 m/s	
3	0,871 m/s	

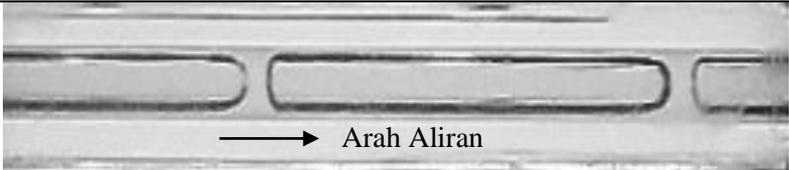
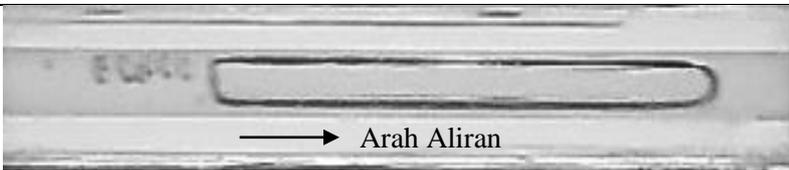
Sama halnya dengan konsentrasi gliserin 40%, pola aliran *plug* pada konsentrasi gliserin 50% sudah teramati pada koordinat awal penelitian yaitu pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s. Dan pada tabel 4.11 menunjukkan perbandingan bentuk *plug* dengan $J_G = 0,025$ m/s dan J_L yang bervariasi. Semakin tinggi nilai kecepatan superficial air maka aliran *plug* yang teramati semakin pendek.

Tabel 4.12 Pola aliran *plug* Gliserin 50% dengan $J_L = 0,871$ m/s dan J_G yang bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,423 m/s	
3	0,871 m/s	

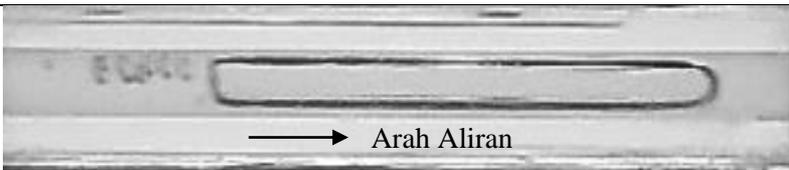
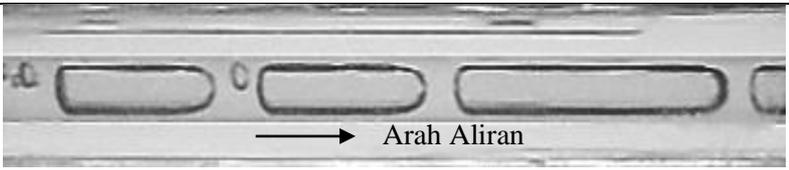
Pada saat nilai kecepatan superficial gas naik maka *plug* mulai mengalami perubahan yaitu bagian bawah *plug* yang sedikit bergelombang dan pola *plug* yang semakin panjang dan berdempetan seperti terlihat pada tabel 4.12 dengan perbandingan $J_L = 0,879$ m/s tetap dan J_G yang bervariasi.

Tabel 4.13 Pola aliran *plug* Gliserin 60% dengan $J_G = 0,025$ m/s dan J_L yang bervariasi

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,871 m/s	

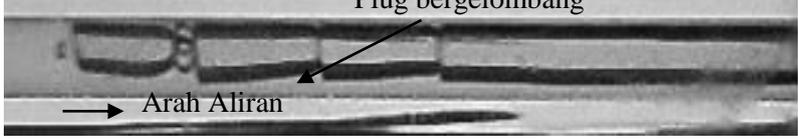
Pola aliran *plug* yang teramati pada konsentrasi gliserin 60% adalah pada koordinat $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s, pada kondisi ini pola aliran *plug* yang teramati semakin mengecil di setiap kenaikan nilai kecepatan superfisial cairnya seperti pada perbandingan J_G 0,025 m/s dengan J_L bervariasi pada tabel 4.13.

Tabel 4.14 Pola aliran *plug* Gliserin 60% dengan $J_L = 0,871$ m/s dan J_G yang bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,423 m/s	
3	1,941 m/s	

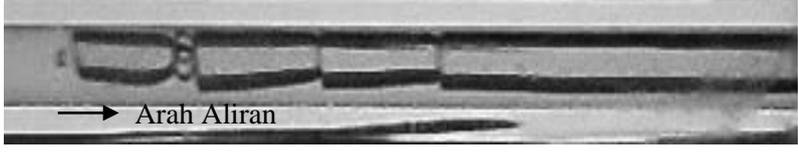
Dalam setiap kenaikan kecepatan superfisial gas pada gliserin dengan konsentrasi 60% ini khususnya pada kecepatan superfisial cair yang tinggi pola *plug* yang teramati berukuran panjang, namun pada setiap kenaikan kecepatan superfisial gas J_G terjadi gelombang pada bagian bawah *plug* dan memecah *plug* menjadi pendek seperti terlihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.15 Pola aliran *plug* Gliserin 70% dengan $J_G = 0,025$ m/s dan J_L yang bervariasi

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,871 m/s	
3	2,297 m/s	

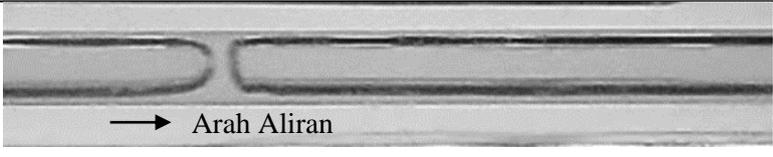
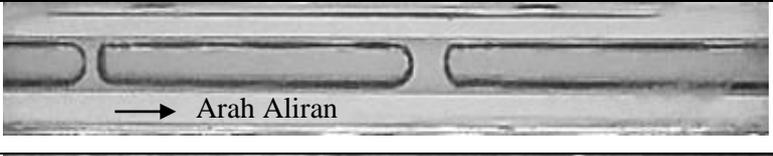
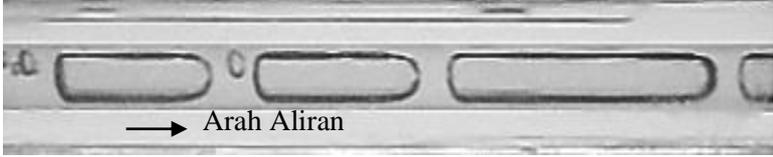
Pada konsentrasi gliserin 70% pola aliran *plug* mulai teramati pada koordinat $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s, pada kondisi ini pola aliran *plug* yang teramati memiliki hidung yang bulat dan ekor yang bulat, namun seiring dengan naiknya nilai kecepatan superfisial cair maka bentuk hidung *plug* mulai meruncing dan *plug* semakin memendek ukurannya dan saling berdempetan satu dengan yang lain, seperti terlihat pada tabel 4.15

Tabel 4.16 Pola aliran *plug* Gliserin 70% dengan $J_L = 2,297$ m/s dan J_G yang bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,025 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

Pada tabel 4.16 terlihat bahwa dengan kecepatan superfisial cair yang tinggi, pola aliran *plug* yang teramati berbentuk pendek, namun seiring dengan naiknya kecepatan superfisial gas, pola aliran *plug* yang pendek tadi semakin berdempetan antara satu dengan yang lainnya.

Tabel 4.17 pola aliran plug gliserin (40, 50, 60, dan 70%) dengan $J_G = 0,025$ dan $J_L = 0,871$ m/s

NO	GLISERIN	GAMBAR POLA ALIRAN
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

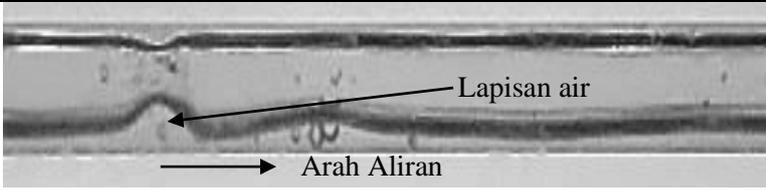
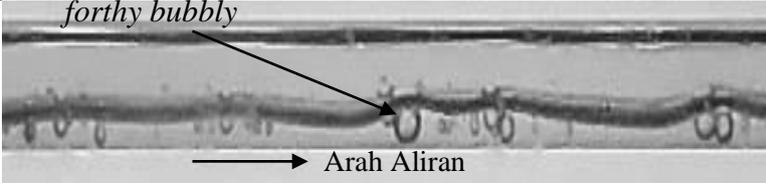
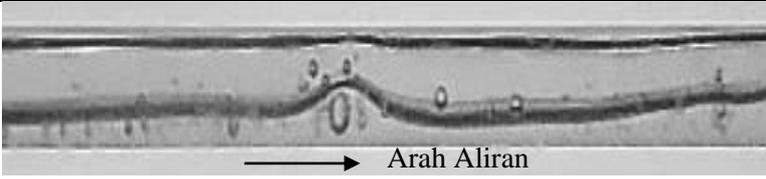
Pengaruh kenaikan viskositas cairan terhadap pola aliran plug berpengaruh pada ukuran aliran plug yang memendek disetiap kenaikan konsentrasi gliserinnya.

4.1.3 Pola aliran *slug-annular*

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.

Pada percobaan dengan konsentrasi gliserin 40% pola aliran *slug-annular* sudah mulai teramati pada koordinat $J_G = 1,941$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s.

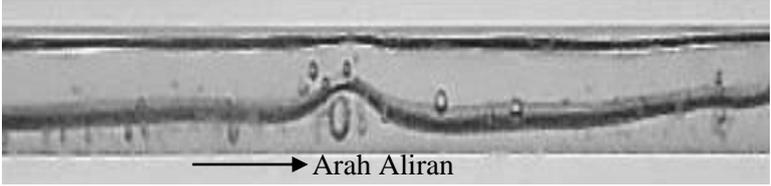
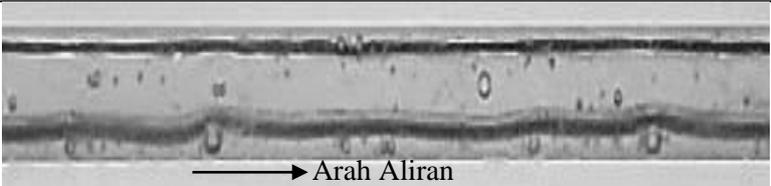
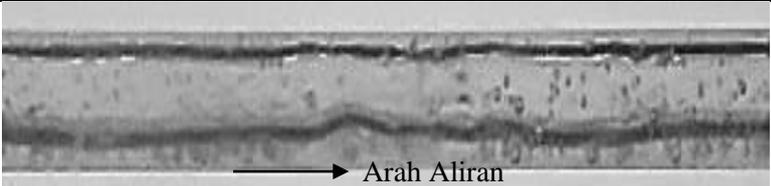
Tabel 4.18 pola aliran *slug-annular* gliserin 40% dengan $J_G = 3$ dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,149 m/s	
3	0,539 m/s	

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

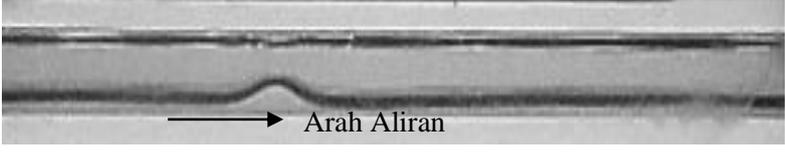
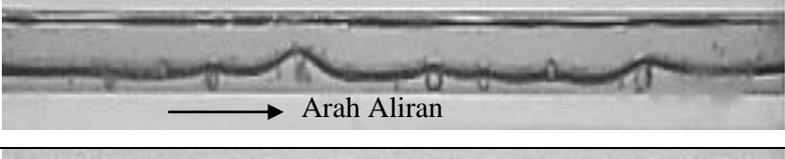
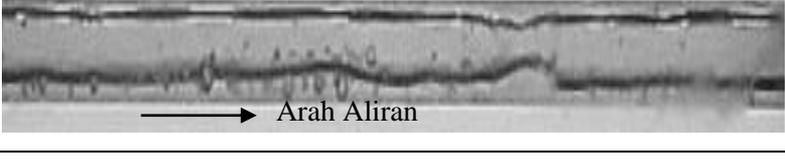
untuk memutusny. Seiring dengan naiknya kecepatan superfisial cair gelombang pada bagian bawah pipa semakin besar namun tetap belum mampu memutus aliran udara, akan tetapi setiap naiknya nilai kecepatan superfisial cair maka aliran *slug-annular* mulai diikuti oleh *forthy bubbly* dan volume dari *forthy bubbly* ini meningkat seiring dengan naiknya kecepatan superfisial cair. Seperti terlihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.19 pola aliran slug-annular gliserin 40% dengan $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	JG	GAMBAR POLA ALIRAN
1	3 m/s	
2	4,238 m/s	
3	7 m/s	

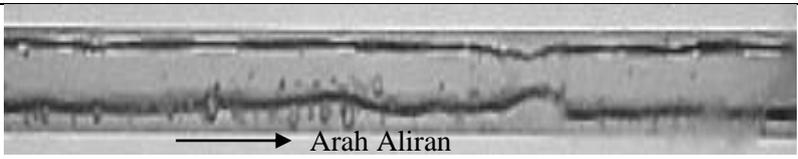
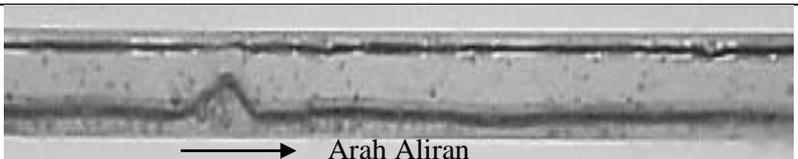
Dalam setiap kenaikan nilai kecepatan superfisial udara, gelombang yang terlihat pada bagian bawah pipa menjadi semakin sedikit ini diakibatkan oleh aliran air yang berusaha memutus aliran udara namun tidak mampu memutusny diakarenakan kecepatan aliran udara yang semakin tinggi. Seperti terlihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.20 pola aliran *slug-annular* gliserin 50% dengan $J_G = 3$ dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

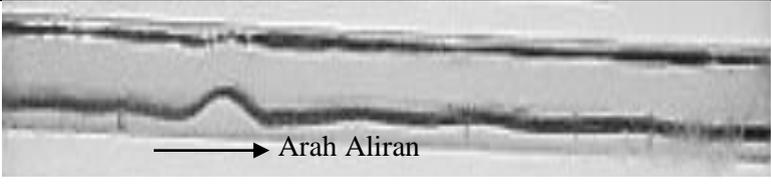
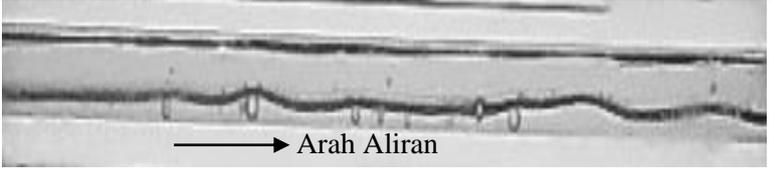
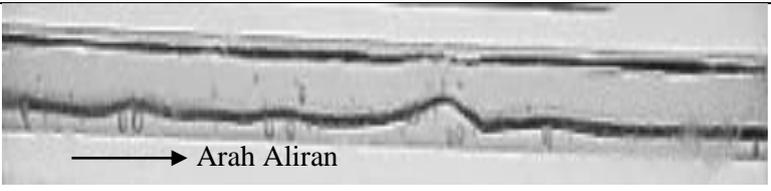
Tidak ada perbedaan yang signifikan antara perbandingan bentuk pola aliran *slug-annular* yang didapatkan antara gliserin 40% dengan 50%. Hanya saja gelombang yang terjadi pada gliserin 50% ini lebih tenang pergerakannya pada awalnya, namun seiring dengan naiknya kecepatan superfisial cair maka gelombang yang terlihat menjadi lebih banyak dan tebal serta terdapat *forthy bubbly* dibagian bawah pipa seperti terlihat pada tabel 4.20.

Tabel 4.21 Pola aliran *slug-annular* gliserin 50% dengan $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	3 m/s	
2	7 m/s	
3	9,62 m/s	

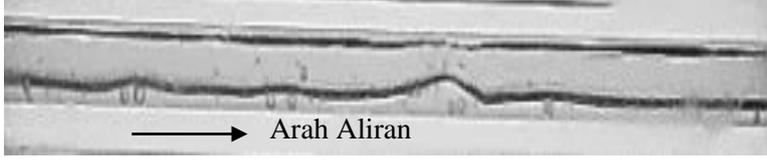
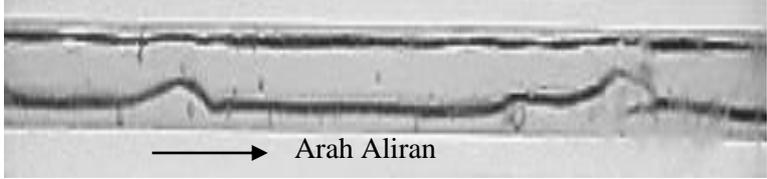
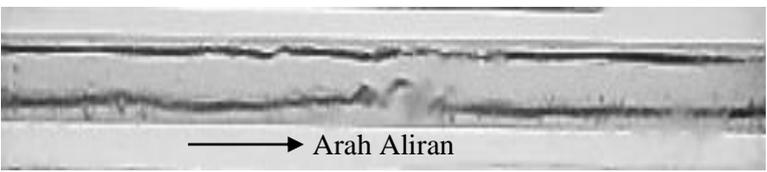
Pada konsentrasi gliserin 50% ini, perbandingan dari hasil yang didapat dari kenaikan nilai kecepatan superfisial udara antara konsentrasi gliserin 40% dengan konsentrasi gliserin 50% ini tidak terlalu signifikan, hanya saja gelombang yang terjadi di bagian bawah pipa semakin tipis. Seperti terlihat pada tabel 4.21.

Tabel 4.22 pola aliran *slug-annular* gliserin 60% dengan $J_G = 3$ dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,149 m/s	
3	0,539 m/s	

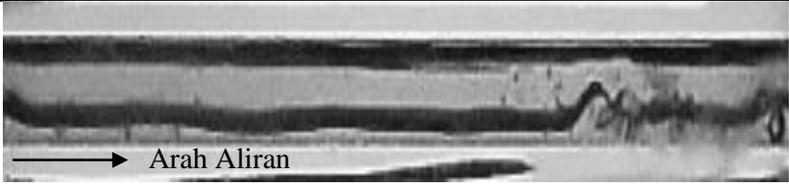
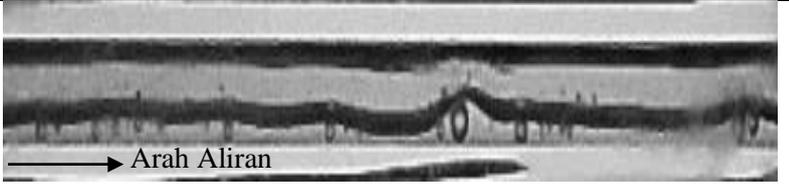
Sama seperti sebelumnya, pada konsentrasi gliserin 60% ini kecepatan superfisial air mempengaruhi ketebalan gelombang dan forthy bubbly yang terjadi pada pola aliran slug-annular, seperti terlihat perbandingan pola aliran slug-annular dengan $J_G = 3$ m/s dan J_L yang bervariasi pada tabel 4.22.

Tabel 4.23 Pola aliran *slug-annular* gliserin 60% dengan $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	3 m/sv	
2	4,23 m/s	
3	7 m/s	

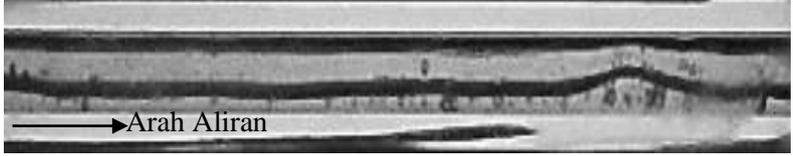
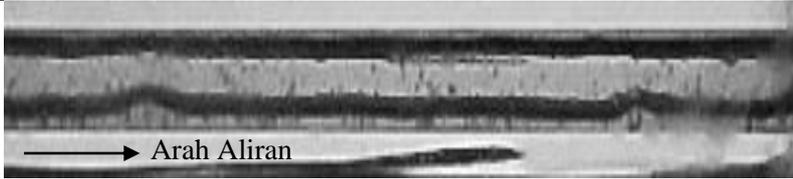
Sama halnya dengan hasil sebelumnya, dalam setiap kenaikan kecepatan superficial udara pada konsentrasi gliserin 60% kenaikan kecepatan superficial udara ini mempengaruhi banyak nya gelombang yang terjadi pada pola ini. Seperti terlihat perbandingan pola *slug-annular* pada $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi dalam tabel 4.23.

Tabel 4.24 pola aliran *slug-annular* gliserin 70% dengan $J_G = 3$ dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,539 m/s	

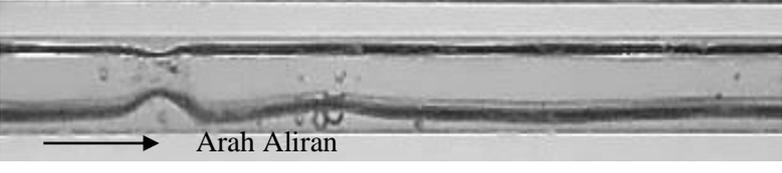
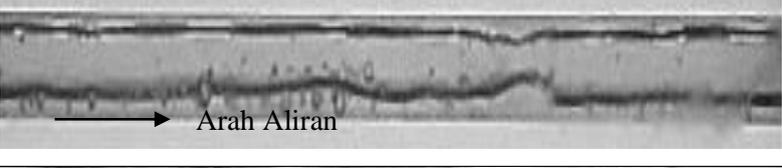
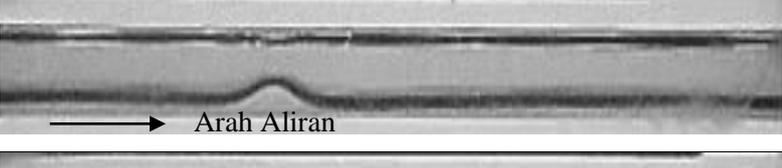
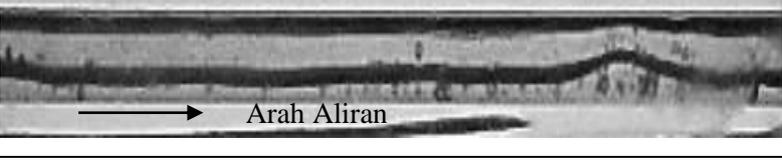
Jika pada pengamatan sebelumnya pada konsentrasi gliserin 40%, 50%, dan 60% pola aliran slug-annular sudah dapat diamati pada koordinat $J_G = 1,941$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s lain halnya pada konsentrasi gliserin 70%, pola aliran slug-annular baru teramati pada koordinat $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s, namun perbandingan bentuk dari pola aliran slug-annular pada konsentrasi gliserin 70% memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Seperti terlihat perbandingan bentuk slug-annular dengan $J_G = 3$ m/s dan J_L yang bervariasi pada tabel 4.24 dan perbandingan bentuk slug-annular dengan $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi pada tabel 4.24.

Tabel 4.25 Pola aliran *slug-annular* gliserin 70% dengan $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	3 m/s	
2	7 m/s	
3	9,62 m/s	

Sama halnya dengan hasil sebelumnya, dalam setiap kenaikan kecepatan superficial udara pada konsentrasi gliserin 70% kenaikan kecepatan superficial udara ini mempengaruhi banyak nya gelombang yang terjadi pada pola ini. Seperti terlihat perbandingan pola *slug-annular* pada $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi dalam tabel 4.25.

Tabel 4.26 Pola aliran slug-annular gliserin (40, 50, 60, dan 70%) dengan J_G dan J_L yang bervariasi.

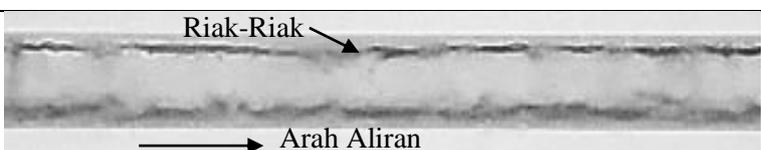
NO	GLISERIN	GAMBAR POLA ALIRAN
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

Dalam setiap kenaikan viskositas cairan (konsentrasi gliserin) dalam pengamatan ini, viskositas fluida cair mempengaruhi ketebalan gelombang pada pola aliran slug-annular, perbandingan bentuk pola aliran slug-annular berdasarkan konsentrasi gliserin dapat dilihat pada tabel 4.26.

4.1.4 Pola Aliran *Annular*

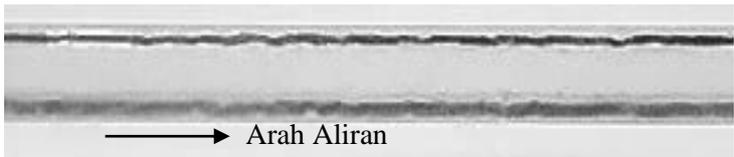
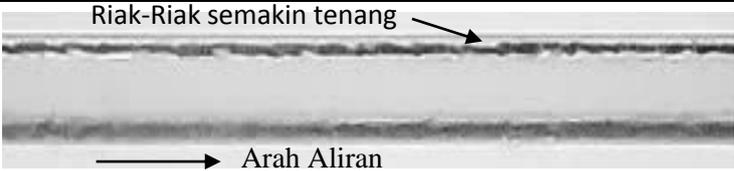
Pola aliran ini merupakan pola aliran lanjutan dari pola aliran *slug-annular*, dimana pada pola aliran slug-annular terdapat gelombang yang berusaha memutus aliran udara, namun seiring dengan naiknya kecepatan superfisial udara gelombang yang terjadi semakin kecil dan semakin tenang. Pola aliran ini yang dinamakan dengan pola aliran annular. Dalam pola aliran ini aliran terdapat riak-riak kecil pada aliran air.

Tabel 4.27 pola aliran annular gliserin 40% dengan $J_G = 50$ m/s dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,539 m/s	
3	0,879 m/s	

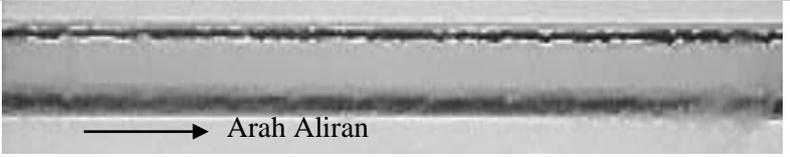
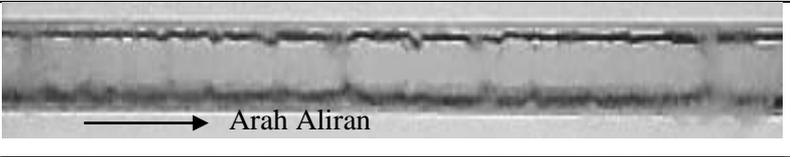
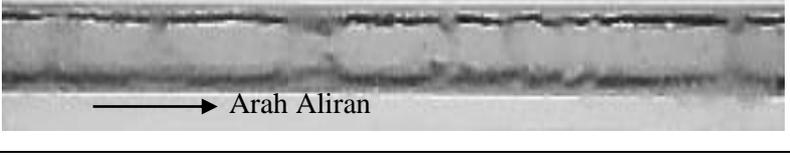
Pola aliran *annular* pada konsentrasi gliserin 40% ini mulai teramati pada koordinat $J_G = 50$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s. Aliran gas mendominasi pada bagian tengah pipa dan pada bagian tepi pipa terdapat aliran air yang tipis yang menyebabkan riak-riak kecil. Jika pada pola aliran *slug-annular* sebelumnya terdapat beberapa *forthy bubbly*, dalam aliran *annular* ini *forthy bubbly* kini telah sepenuhnya menghilang. Pengaruh kenaikan kecepatan superfisial cair pada pola aliran ini berpengaruh terhadap semakin besarnya riak-riak air pada bagian tepi pipa sedangkan pengaruh kenaikan nilai kecepatan superfisial gas pada aliran ini berpengaruh pada semakin kecilnya riak-riak air pada bagian tepi pipa.

Tabel 4.28 pola aliran *annular* pada gliserin 40% dengan $J_L = 0,232$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	50 m/s	
2	58,05 m/s	
3	66,3 m/s	

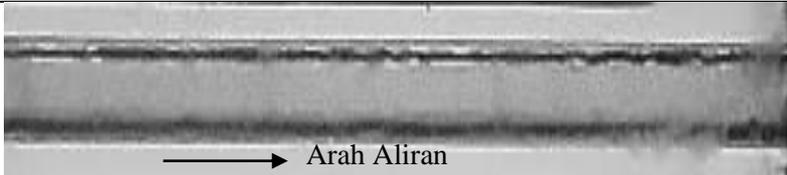
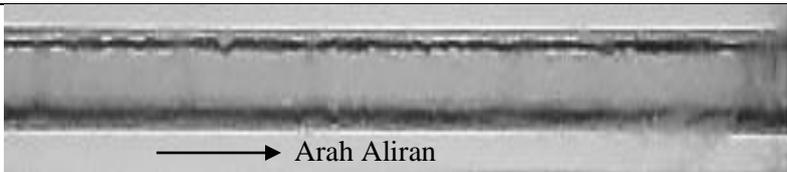
Pada setiap kenaikan kecepatan superficial udara membuat riak-riak air pada bagian tepi pipa menjadi semakin tenang, ini dikarenakan kecepatan udara pada bagian tengah pipa semakin cepat sehingga aliran air pada bagian sisi pipa menjadi tidak dominan.

Tabel 4.29 Pola aliran *annular* gliserin 50% dengan $J_G = 50$ m/s dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,7 m/s	

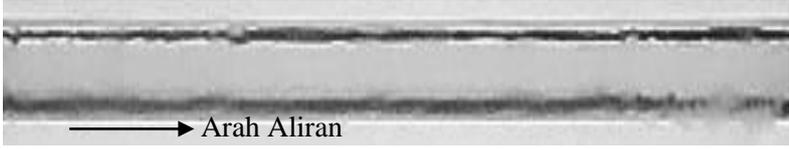
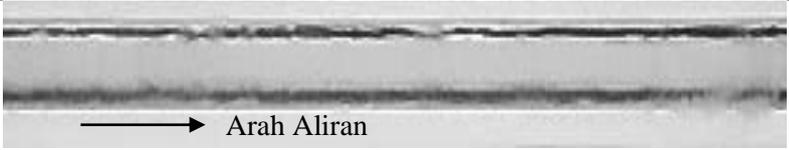
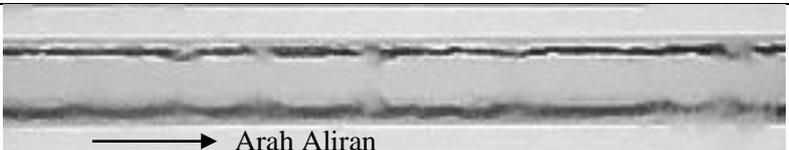
Terlihat dari tabel 4.29 pada setiap kenaikan kecepatan superfisial air menyebabkan riak-riak air di bagian tepi pipa menjadi semakin besar. Hal ini dikarenakan aliran air pada bagian tepi pipa semakin cepat dan begesekan langsung dengan aliran udara yang dalam kondisi steady.

Tabel 4.30 Pola aliran *annular* gliserin 50% dengan $J_L = 0,232$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	POLA ALIRAN
1	50 m/s	
2	55,08 m/s	
3	66,3 m/s	

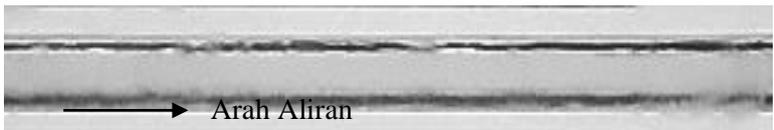
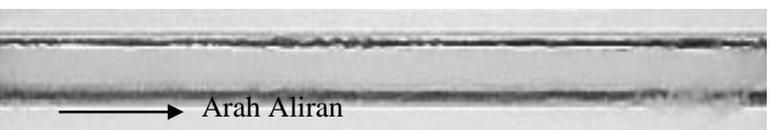
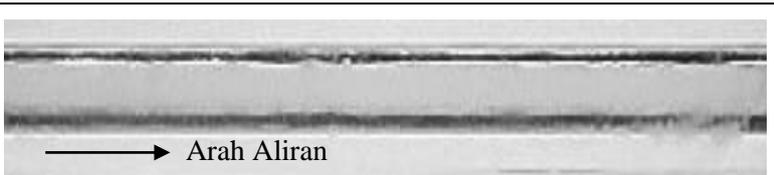
Sama seperti hasil pengamatan pola *annular* pada gliserin 40%, pada konsentrasi gliserin 50% ini pun pola aliran *annular* terlihat lebih memiliki riak-riak air pada bagian tepi pipa. Dan seiring dengan naiknya nilai kecepatan superfisial udara maka riak-riak pada bagian tepi pipa semakin menipis, seperti terlihat pada tabel 4.30.

Tabel 4.31 Pola aliran *annular* gliserin 60% dengan $J_G = 50$ m/s dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,149 m/s	
3	0,539 m/s	

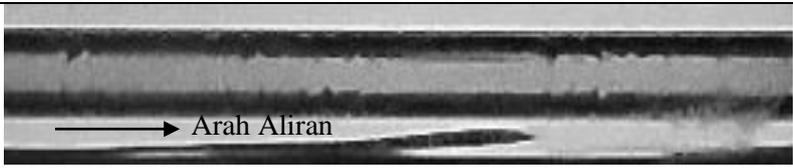
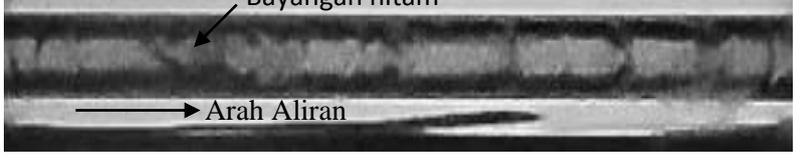
Dapat dilihat pada tabel 4.31 jika dibandingkan dengan aliran *annular* gliserin 50%, pada gliserin 60% ini aliran *annular* tidak memiliki perbedaan yang signifikan dari segi bentuknya. Pada setiap kenaikan kecepatan superfisial air menyebabkan riak-riak air di bagian tepi pipa menjadi semakin besar.

Tabel 4.32 Pola aliran *annular* gliserin 60% dengan $J_L = 0,149$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	50 m/s	
2	55,08 m/s	
3	66,3 m/s	

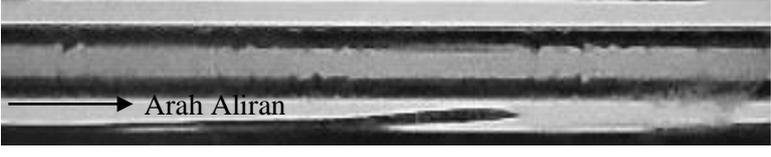
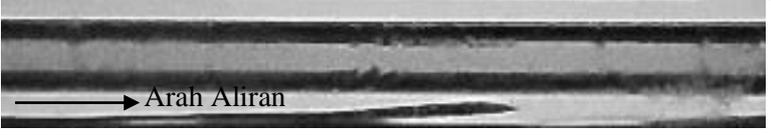
Sama seperti hasil pengamatan pola *annular* pada gliserin 50%, pada konsentrasi gliserin 60% ini pun pola aliran *annular* terlihat lebih memiliki riak-riak air pada bagian tepi pipa. Dan seiring dengan naiknya nilai kecepatan superfisial udara maka riak-riak pada bagian tepi pipa semakin menipis, seperti terlihat pada tabel 4.32.

Tabel 4.33 Pola aliran annular gliserin 70% dengan $J_G = 50$ m/s dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,232 m/s	
3	0,879 m/s	

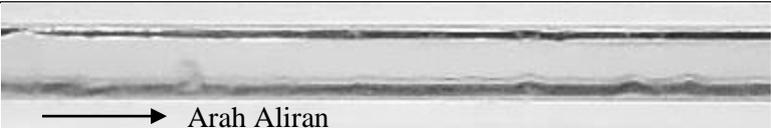
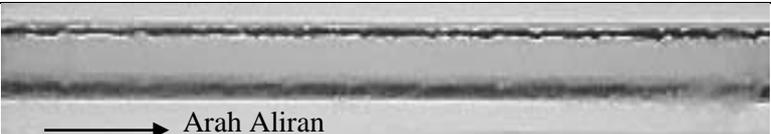
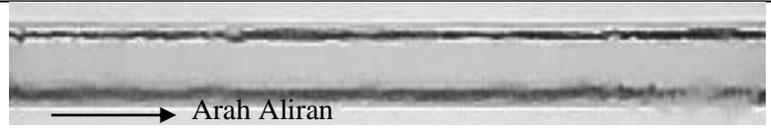
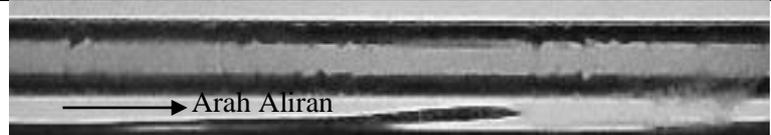
Dapat dilihat pada tabel 4.33 jika dibandingkan dengan aliran *annular* gliserin 60%, pada gliserin 70% ini aliran *annular* tidak memiliki perbedaan yang signifikan dari segi bentuknya. Pada setiap kenaikan kecepatan superfisial air menyebabkan riak-riak air di bagian tepi pipa menjadi semakin besar.

Tabel 4.34 Pola aliran *annular* gliserin 70% dengan $J_L = 0,539$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	50 m/s	
2	55,08 m/s	
3	66,3 m/s	

Sama seperti hasil pengamatan pola *annular* sebelumnya pada pada konsentrasi gliserin 70% ini pun pola aliran annular terlihat lebih memiliki riak-riak air pada bagian tepi pipa. Dan seiring dengan naiknya nilai kecepatan superfisial udara maka riak-riak pada bagian tepi pipa semakin menipis, seperti terlihat pada tabel 4.34.

Tabel 4.35 pola aliran *annular* gliserin (40%, 50%, 60%, dan 70%)

NO	GLISERIN	GAMBAR POLA ALIRAN
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

Dalam setiap kenaikan konsentrasi gliserin pada percobaan ini pola aliran *annular* tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Perubahan bentuk dari pola aliran *annular* lebih dipengaruhi oleh kenaikan kecepatan superfisial cair dan kecepatan superfisial gas, perbandingan bentuk pola aliran *annular* dapat dilihat pada tabel 4.35.

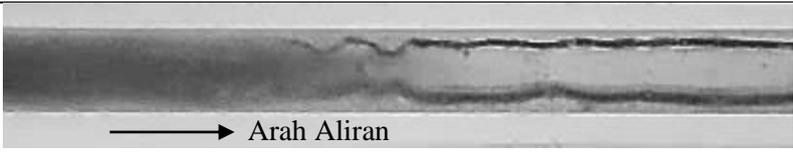
4.1.5 Pola Aliran *Churn*

Pada saat kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cair sangat tinggi. Pada saat fluks volumetrik udara dan cairan naik pada aliran *slug-annular* dan *annular* yang menyebabkan menebalnya lapisan air pada bagian tepi pipa. Volume air dalam jumlah besar mengganggu aliran udara yang sebelumnya mengalir secara berkelanjutan. Aliran *plug* yang harusnya muncul dengan besarnya volume air menjadi terdispersi dalam ukuran yang sangat kecil dan mengalir dalam kecepatan tinggi oleh laju udara yang cepat. Dalam pengamatan ini aliran *churn* yang terjadi hanya terlihat seperti bayangan hitam pada aliran inti gas yang diselubungi fluida cair yang mengalir dengan kecepatan tinggi. pola aliran *churn* berbatasan dengan pola aliran *slug-annular* dan pola aliran *annular*. Perbedaan antara pola aliran *churn* yang berbatasan antara pola aliran *slug-annular* dan *annular* adalah masih terlihatnya gelombang yang mengganggu aliran udara pada pola aliran *slug-annular*. Sedangkan pada aliran *churn* yang berbatasan dengan pola aliran *annular* hampir tidak ada gelombang yang terjadi pada bagian tepi pipa.

Pada konsentrasi gliserin 40% pola aliran *churn* mulai teramati pada koordinat $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s , pada koordinat ini aliran *churn* berbatasan dengan aliran *slug-annular*. Sehingga aliran *churn* masih diikuti gelombang-gelombang air. Apabila kecepatan superfisial air dinaikan maka gelombang air akan semakin tebal. Pada saat nilai kecepatan aliran udara pada koordinat $J_G = 50$ m/s yang artinya aliran *churn* berbatasan dengan aliran *annular*. Maka gelombang yang sebelumnya terjadi menjadi lebih tenang dan hampir tidak ditemukan gelombang. Hal ini terjadi di semua konsentrasi gliserin (40%, 50%, 60%, dan 70%). Pengaruh kenaikan konsentrasi gliserin ini membuat bayangan hitam pada aliran *churn* menjadi berkurang. Ini menandakan pada viskositas yang semakin tinggi aliran air

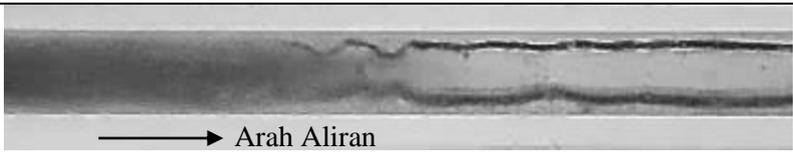
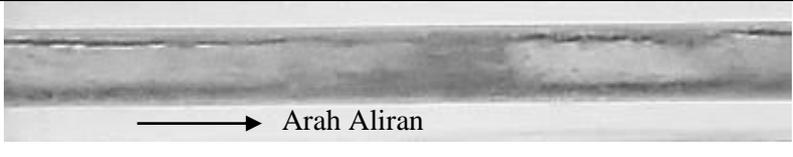
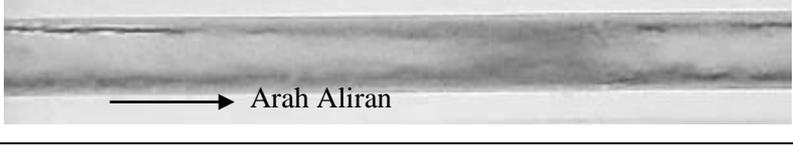
menjadi lebih sulit terdispersi dan bayangan hitam yang dihasilkan pun menjadi lebih sedikit.

Tabel 4.36 Pola aliran *churn* gliserin 40% dengan $J_G = 9,62$ m/s dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

Terlihat pada tabel 4.36 semakin naik nilai kecepatan superfisial cair pada J_G yang sama maka gelombang pada bagian bawah pipa semakin tebal dan kecepatan aliran *churn* pun semakin meningkat.

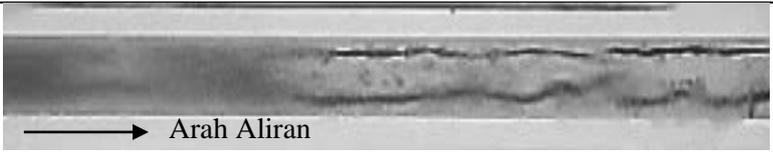
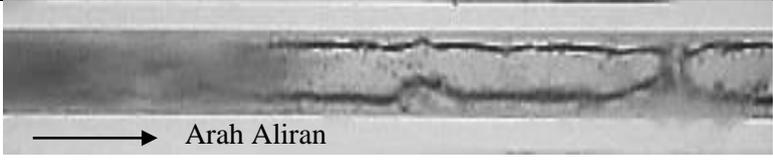
Tabel 4.37 Pola aliran *churn* gliserin 40% dengan $J_L = 2,297$ m/s dan J_G yang bervariasi

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	9,62 m/s	
2	50 m/s	
3	58,05 m/s	

Terlihat pada tabel 4.37 aliran *churn* pada $J_G = 9,62$ m/s pola aliran berbatasan dengan pola aliran *slug-annular*. Ketika kecepatan superfisial udara dinaikan pada $J_G = 50$ m/s aliran *churn* berbatasan dengan pola aliran *annular*.

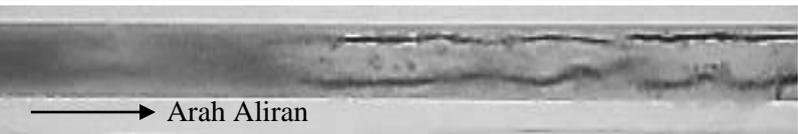
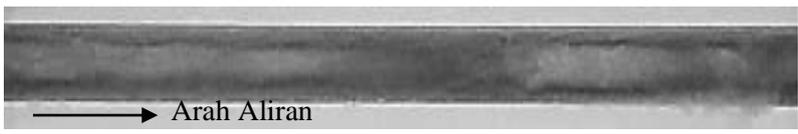
Dapat dilihat seiring dengan naiknya nilai kecepatan superfisial udara maka gelombang pada bagian tepi pipa semakin menipis.

Tabel 4.38 Pola aliran *churn* gliserin 50% dengan $J_G = 9,62$ m/s dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

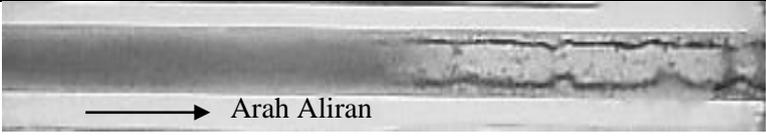
Pada tabel 4.38 menunjukkan perbandingan bentuk pola aliran *churn* dengan $J_G = 9,62$ m/s dan J_L yang bervariasi. Terlihat bahwa semakin meningkatnya kecepatan aliran air maka gelombang yang terjadi pada bagian bawah pipa semakin menebal.

Tabel 4.39 Pola aliran *churn* gliserin 50% dengan $J_L = 2,297$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	9,62 m/s	
2	50 m/s	
3	58,05 m/s	

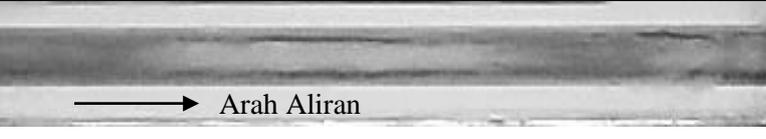
Pada kondisi kecepatan superfisial udara yang semakin meningkat dan dengan kecepatan superfisial cair yang tetap. Terlihat pada tabel 4.39 bahwa gelombang air pada bagian bawah pipa pun semakin menipis.

Tabel 4.40 Pola aliran *churn* gliserin 60% dengan $J_G = 9,62$ m/s dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	2,297 m/s	
2	4,935 m/s	

Pada konsentrasi gliserin 60% ini pola aliran *churn* yang teramati dengan J_G tetap dan J_L yang bervariasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil sebelumnya.

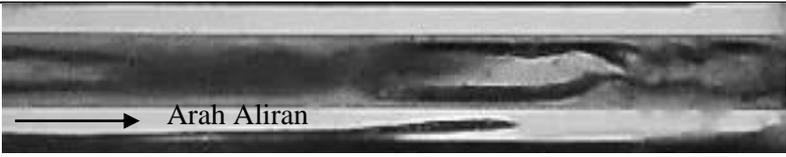
Tabel 4.41 Pola aliran *churn* gliserin 60% dengan $J_L = 2,297$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	9,62 m/s	
2	50 m/s	
3	58,05 m/s	

Pada kondisi kecepatan superfisial udara yang semakin meningkat dan dengan kecepatan superfisial cair yang tetap. Terlihat pada konsentrasi gliserin 60%

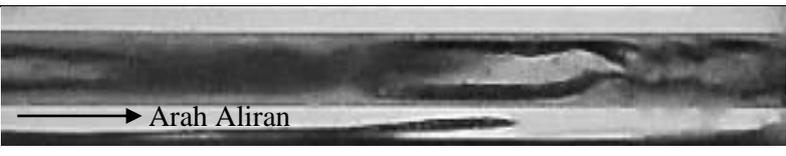
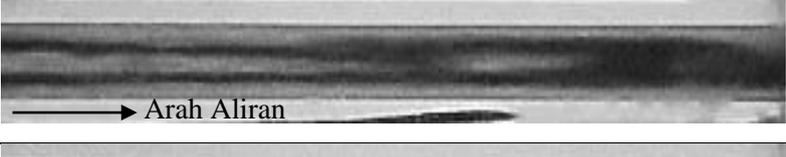
pada tabel diatas bahwa gelombang air pada bagian bawah pipa pun semakin menipis dan bayangan hitam semakin sedikit.

Tabel 4.42 Pola aliran *churn* gliserin 70% dengan $J_G = 9,62$ m/s dan J_L yang bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	2,297 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow of a liquid-glycerin mixture. The flow is characterized by a dark, wavy interface between the liquid and the gas phase. A white arrow labeled 'Arah Aliran' points to the right, indicating the direction of flow.
2	4,935 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow of a liquid-glycerin mixture. The flow is characterized by a dark, wavy interface between the liquid and the gas phase. A white arrow labeled 'Arah Aliran' points to the right, indicating the direction of flow.

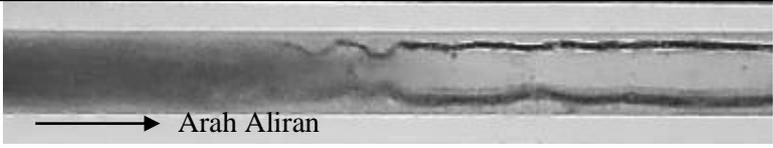
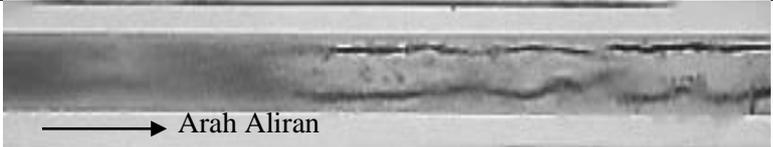
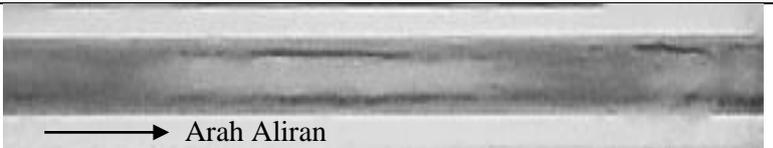
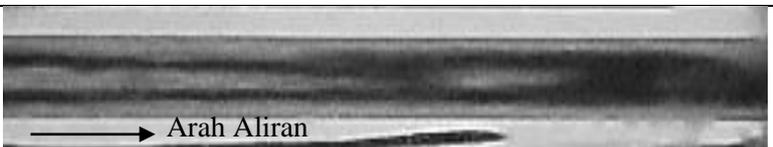
Pada tabel 4.42 terlihat perbandingan pola aliran *churn* dengan $J_G = 9,62$ m/s dan J_L yang bervariasi. Pada setiap kenaikan kecepatan superfisial cairnya gelombang pada bagian bawah pipa semakin tebal dan aliran *churn* yang terjadi semakin cepat. Pada konsentrasi gliserin 70% ini bayangan hitam yang teramati yaitu lebih tipis dibandingkan dengan hasil pengamatan sebelumnya.

Tabel 4.43 Pola aliran *churn* gliserin 70% dengan $J_L = 2,297$ m/s dan J_G yang bervariasi.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	9,62 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow of a liquid-glycerin mixture. The flow is characterized by a dark, wavy interface between the liquid and the gas phase. A white arrow labeled 'Arah Aliran' points to the right, indicating the direction of flow.
2	50 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow of a liquid-glycerin mixture. The flow is characterized by a dark, wavy interface between the liquid and the gas phase. A white arrow labeled 'Arah Aliran' points to the right, indicating the direction of flow.
3	58,05 m/s	 A black and white photograph showing a horizontal flow of a liquid-glycerin mixture. The flow is characterized by a dark, wavy interface between the liquid and the gas phase. A white arrow labeled 'Arah Aliran' points to the right, indicating the direction of flow.

Di setiap kenaikan kecepatan superfisial udaranya pun pola aliran *churn* ini tidak memiliki perbedaan hasil yang signifikan dengan hasil pengamatan sebelumnya. Hanya saja bayangan hitam yang terjadi pada aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 70% ini menjadi lebih tipis. Seperti terlihat pada tabel 4.43.

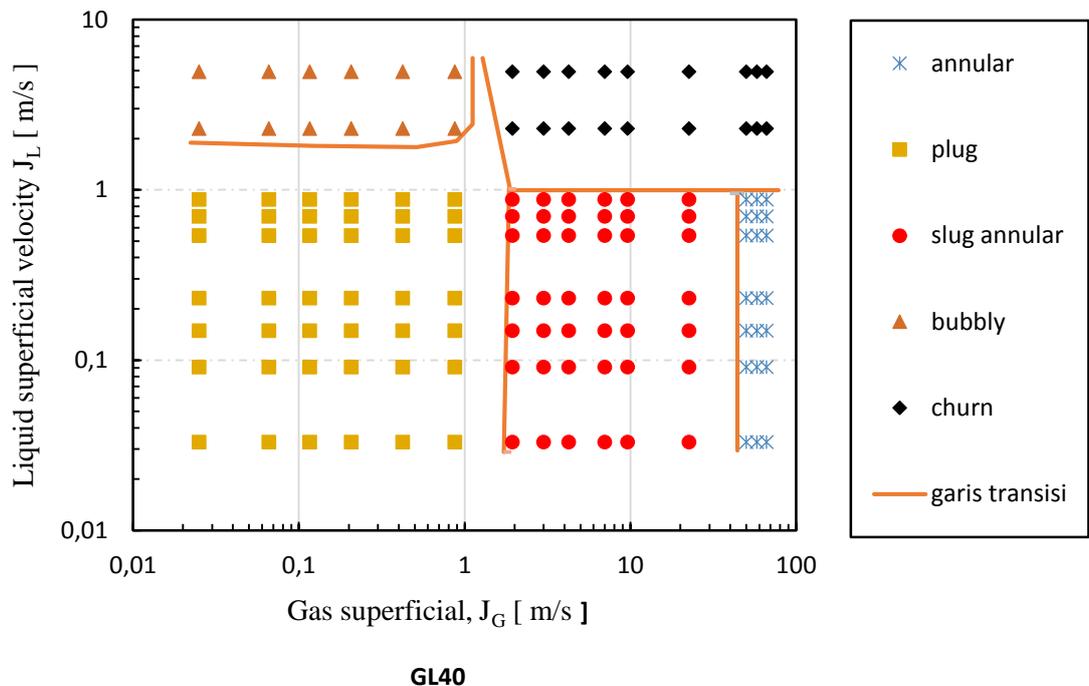
Tabel 4.44 pola aliran *churn* gliserin (40%, 50%, 60%, dan 70%) dengan J_G dan J_L bervariasi

NO	GLISERIN	GAMBAR POLA ALIRAN
1	40%	
2	50%	
3	60%	
4	70%	

Dalam setiap kenaikan konsentrasi gliserin maka pola aliran *churn* yang teramati menjadi semakin menipis. Ini menandakan pada viskositas yang semakin tinggi aliran air menjadi lebih sulit terdispersi dan bayangan hitam yang dihasilkan pun menjadi lebih sedikit. Perbandingan pola aliran *churn* berdasarkan konsentrasi gliserinnya dapat dilihat pada tabel 4.44.

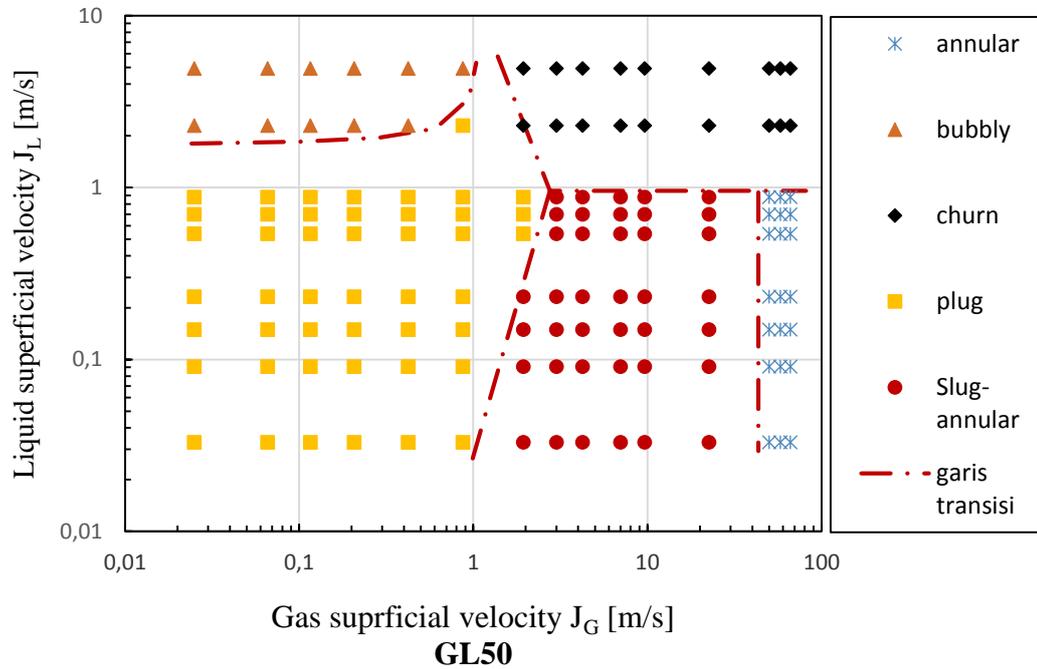
4.2 Peta Pola Aliran

Setelah pola aliran diamati dan diidentifikasi kemudian pola aliran tadi dipetakan dalam sebuah peta pola aliran. Dari 144 data ini kemudian diplot dengan menggunakan kecepatan superfisial udara dengan sumbu x dengan skala 0,01 – 100 m/s dan kecepatan superfisial larutan sebagai sumbu y dengan skala 0,01 – 10 m/s. Peta pola aliran ini digambarkan dalam skala logaritmik. Garis transisi juga digambarkan pada peta pola aliran yang sudah disusun. Garis transisi ini menunjukan perubahan dari satu pola aliran tertentu ke pola aliran yang lainnya.



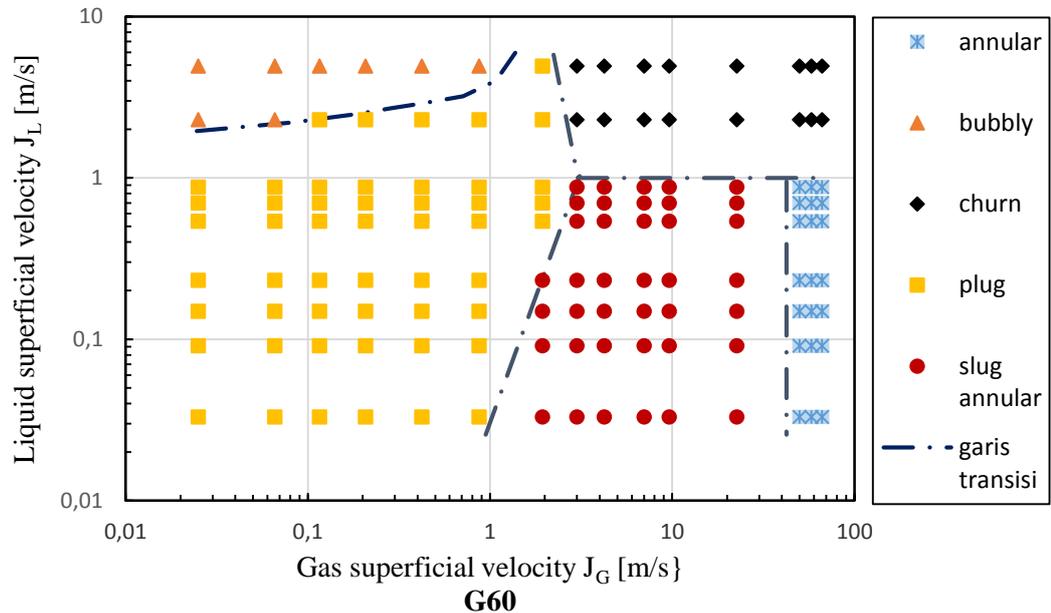
Gambar 4.1 peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 40%

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa pola aliran *plug* dan pola aliran *slug-annular* mendominasi pada peta pola aliran ini. Pada posisi bagian sebelah kiri atas peta ditempati oleh pola aliran *bubbly*, dimana kondisi nilai kecepatan superfisial gas rendah dan nilai kecepatan superfisial cairan tinggi. Pada konsentrasi gliserin 40% ini pola aliran *bubbly* mulai terbentuk pada koordinat $J_L = 2,297$ m/s dan kemudian meluas hingga $J_G = 0,871$ m/s. Pada bagian kiri bawah peta ditempati oleh pola aliran *plug*, pola aliran *plug* ini mulai terbentuk pada J_G dan J_L yang sangat rendah kemudian meluas seiring dengan naiknya nilai kecepatan superfisial gas dan cairan hingga mencapai garis batas transisi dengan pola aliran *slug-annular* disebelah kanan bawah aliran *plug*. Aliran *slug-annular* sendiri terbentuk pada $J_G = 1,941$ m/s. Ketika nilai kecepatan superfisial cairan di naikan pada kondisi J_G yang sama maka pola aliran *slug-annular* berbatasan dengan aliran *churn*. Pola aliran *slug-annular* terbentuk pada saat kecepatan superfisial udara cukup tinggi sedangkan kecepatan superfisial cairan yang rendah. Kenaikan kecepatan superfisial cairan pada pola aliran *slug-annular* ini maka aliran ini mencapai batasnya pada $J_L = 0,879$ sebelum berubah menjadi aliran *churn*. Pada posisi sebelah kanan bawah ditempati oleh pola aliran *annular*, dimana pada kecepatan superfisial udara sangat tinggi. pada konsentrasi gliserin 40% ini aliran *annular* mulai terbentuk pada $J_G = 50$ m/s dan seiring dengan dinaikannya kecepatan superfisial air maka aliran *annular* akan mencapai batasnya pada $J_L = 0,879$ m/s dan kemudian berubah menjadi aliran *churn*.



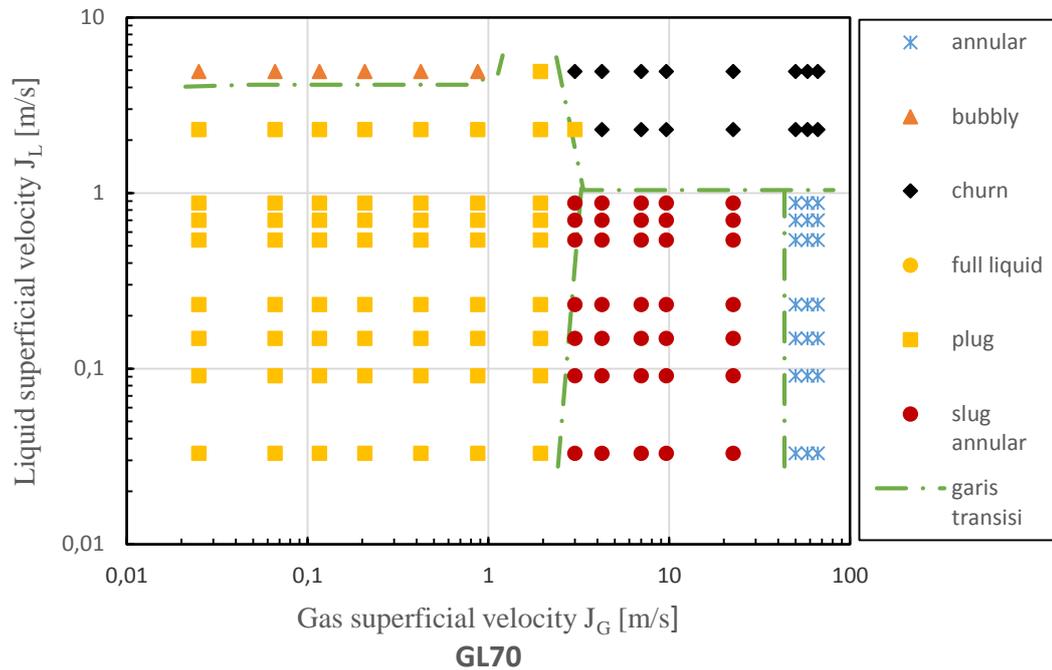
Gambar 4.2 peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 50%

Gambar 4.2 menunjukkan peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 50%. Aliran *plug* dan *slug annular* masih mendominasi pada peta pola aliran ini, bahkan pola aliran *slug annular* semakin berkurang bila dibandingkan dengan peta pola aliran dengan gliserin 40%. pada peta pola aliran ini aliran *bubbly* sedikit tergeser oleh garis transisi yang berbatasan dengan pola aliran *plug*. Pada koordinat $J_G = 0,879$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s. jika pada peta pola aliran dengan gliserin 40% aliran *plug* berhenti pada $J_G = 0,871$ m/s, maka pada peta pola aliran dengan gliserin 50% ini pola aliran *plug* meluas hingga $J_G = 1,941$ m/s. Pola aliran *slug-annular* terbentuk pada $J_G = 1,941$ m/s apabila kecepatan superfisial cair dinaikan terus maka pola aliran *slug-annular* berbatasan dengan aliran *plug* pada $J_L = 0,232$ m/s. Dan apabila kecepatan superfisial cair terus dinaikan maka aliran *plug* tadi berbatasan dengan aliran *churn* pada $J_L = 0,879$ m/s. Sedangkan pada aliran *churn* dan aliran *annular* tidak mengalami perubahan jika dibandingkan dengan peta pola aliran dengan gliserin 40%.



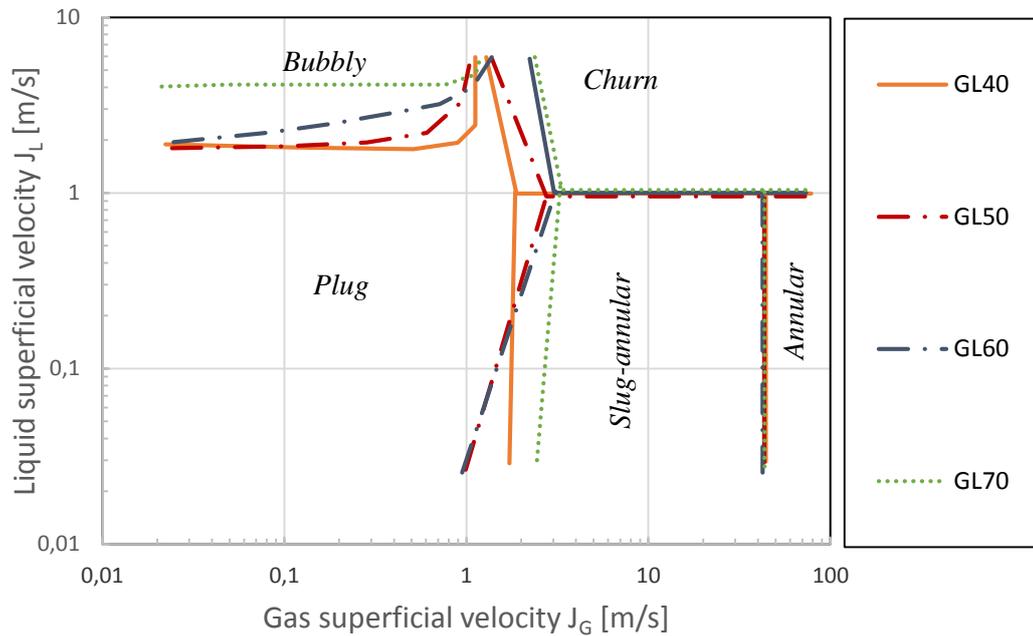
Gambar 4.3 peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 60%

Gambar 4.3 merupakan peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 60%. Pada peta pola aliran ini aliran *plug* semakin mendominasi dan diikuti oleh aliran *slug-annular*. Jika dibandingkan dengan peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 50%, pada konsentrasi gliserin 60% ini aliran *plug* semakin meluas hingga titik koordinat kecepatan superfisial cair teratas yaitu pada $J_L = 4,935$ m/s pada $J_G = 1,941$ m/s. Pola aliran *plug* terbentuk pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s apabila J_G dinaikan sampai $J_G = 0,116$ m/s maka aliran *plug* semakin meluas ke atas dan menggeser aliran *bubbly* pada $J_L = 2,297$ m/s. Aliran *plug* juga menggeser aliran *churn* pada $J_L = 2,297$ m/s dan $4,935$ m/s pada $J_G = 1,941$ m/s. Sedangkan aliran *annular* masih tetap sama dan tidak tergeser jika dibandingkan dengan peta pola aliran sebelumnya.



Gambar 4.4 peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 70%

Pada gambar 4.4 diatas menunjukkan peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 70%. Pada peta pola aliran ini terlihat bahwa aliran *plug* yang semakin mendominasi dan menggeser aliran *slug-annular* yang baru teramati pada $J_G = 3$ m/s. Pada konsentrasi gliserin 70% aliran *plug* pada $J_G = 1,941$ m/s terjadi sampai titik JL teratas yaitu pada $J_L = 4,935$ m/s. Aliran *plug* bahkan teramati pada koorinat $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s yang berbatasan dengan aliran *slug-annular* dibagian bawah dan aliran *churn* di bagian atas. pada peta pola aliran ini aliran *bubbly* semakin tergeser oleh aliran dan hanya terlihat pada $J_L = 4,935$ m/s pada $J_G = 0,025$ m/s – 0,871 m/s. Berbeda halnya dengan aliran *bubbly*, *slug-annular*, dan *churn* yang semakin tergeser posisi nya, pada konsentrasi gliserin 70% ini aliran *annular* tidak mengalami perubahan pada peta pola aliran nya.

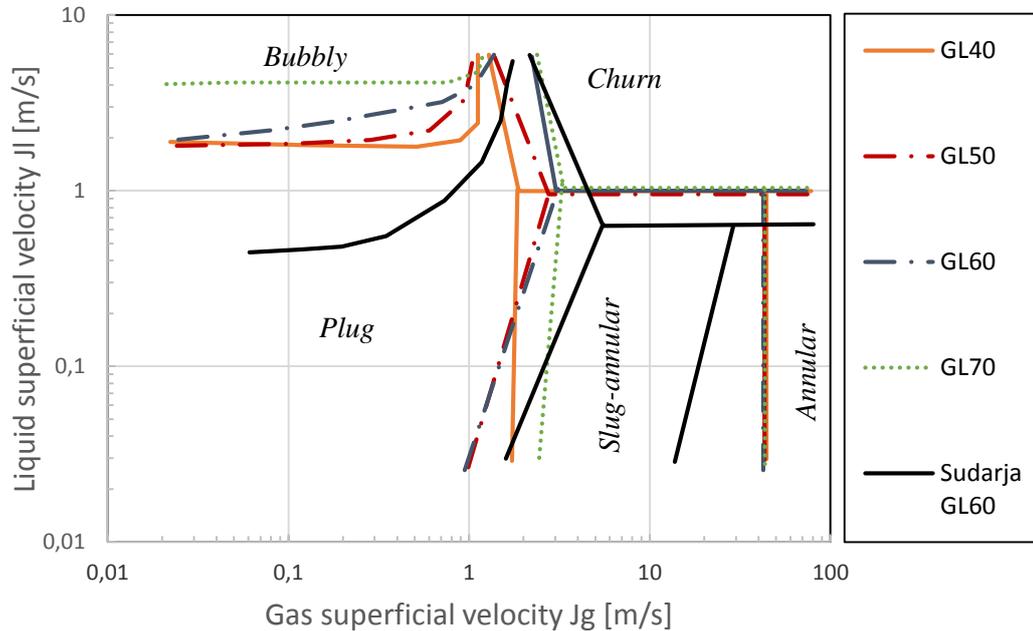


Gambar 4.5 perbandingan peta pola aliran gliserin 40%, 50%, 60%, dan 70%.

Pada gambar 4.5 menunjukkan perbandingan peta pola aliran pada konsentrasi 40%, 50%, 60% dan 70%. Terlihat bahwa disetiap kenaikan konsentrasi gliserin maka aliran plug yang semakin mendominasi dan menggeser aliran *bubbly*, *slug annular*, dan *churn*. Sedangkan aliran *annular* dalam setiap kenaikan konsentrasi gliserinnya tidak mengalami perubahan.

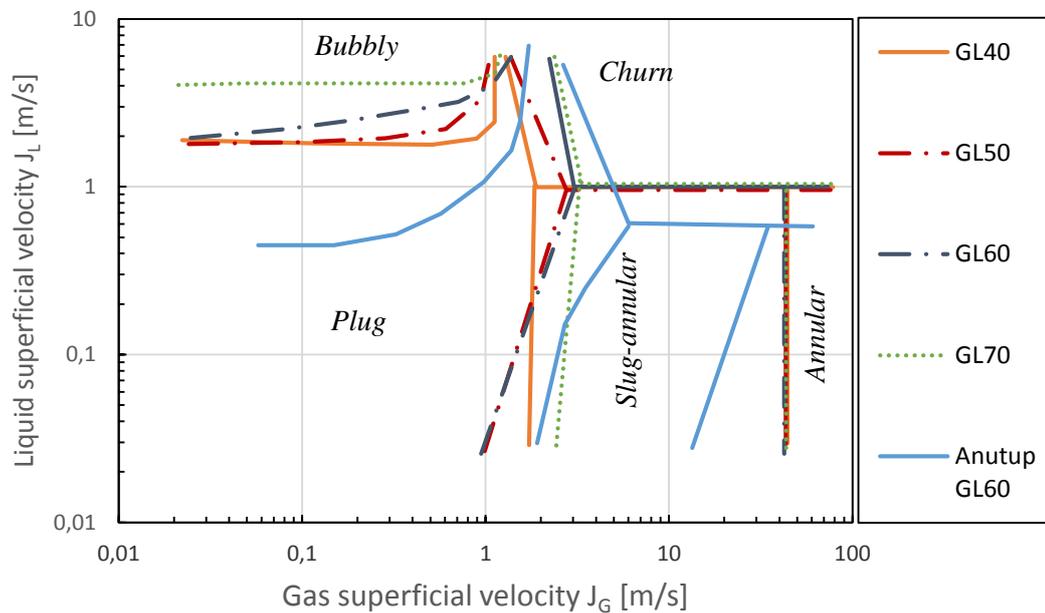
4.3 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terahulu

Untuk mengetahui konsistensi hasil penelitian yang didapat dan perubahan garis transisi yang diakibatkan oleh perubahan parameter tertentu yang diujikan maka penting untuk dilakukan perbandingan hasil penelitian dengan penelitian terdahulu. Beberapa penelitian diantaranya adalah Sudarja dkk (2018) dan Anutup (2016).



Gambar 4.6 Perbandingan peta pola aliran dengan penelitian Sudarja (2018)

Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan peta pola aliran dengan perubahan viskositas dibandingkan dengan penelitian sudarja (2018) dengan variasi gliserin 60%. Dalam penelitiannya Sudarja (2018) menggunakan alat penelitian dan cara kerja yang serupa dengan penelitian ini yaitu menggunakan campuran air-gliserin dan udara dalam saluran mini berukuran 1,6 mm. Hanya saja pada penelitian yang dilakukan kali ini memiliki perbedaan sudut dengan penelitian Sudarja (2018). Sudut yang digunakan pada penelitian ini yaitu sudut dengan kemiringan 30°. Pola aliran yang didapat dalam penelitian Sudarja (2018) ini adalah *plug*, *bubbly*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*. Terdapat perbedaan yang signifikan terhadap garis transisi pada penelitian ini dan penelitian Sudarja (2018). Perbedaan yang paling signifikan adalah pada garis transisi antara *plug* dan *bubbly*.



Gambar 4.7 perbandingan peta pola aliran dengan penelitian Anutup (2016)

Pada perbandingan peta pola aliran dengan penelitian Anutup (2016) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada daerah *bubbly* dan *annular*. Sedangkan pada daerah *plug*, *churn* dan *slug-annular* perbedaan yang teramati tidak terlalu signifikan. Dalam penelitiannya Anutup (2016) menggunakan pipa kaca dengan diameter 1,6 mm dan menggunakan campuran gliserin 20, 40, dan 60%. Terdapat perbedaan pada kemiringan pipa dengan penelitian yang dilakukan oleh Anutup (2016). Pada penelitian Anutup (2016) dilakukan penelitian dengan pipa saluran mini dengan posisi horizontal.

