

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian aliran dua fase udara – akuades dan gliserin pada saluran mini dengan kemiringan 5° terhadap posisi horizontal meliputi: pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran dari masing – masing variasi campuran akuades dan gliserin, dan perbandingan peta pola aliran terhadap penelitian terdahulu.

4.1 Pola Aliran

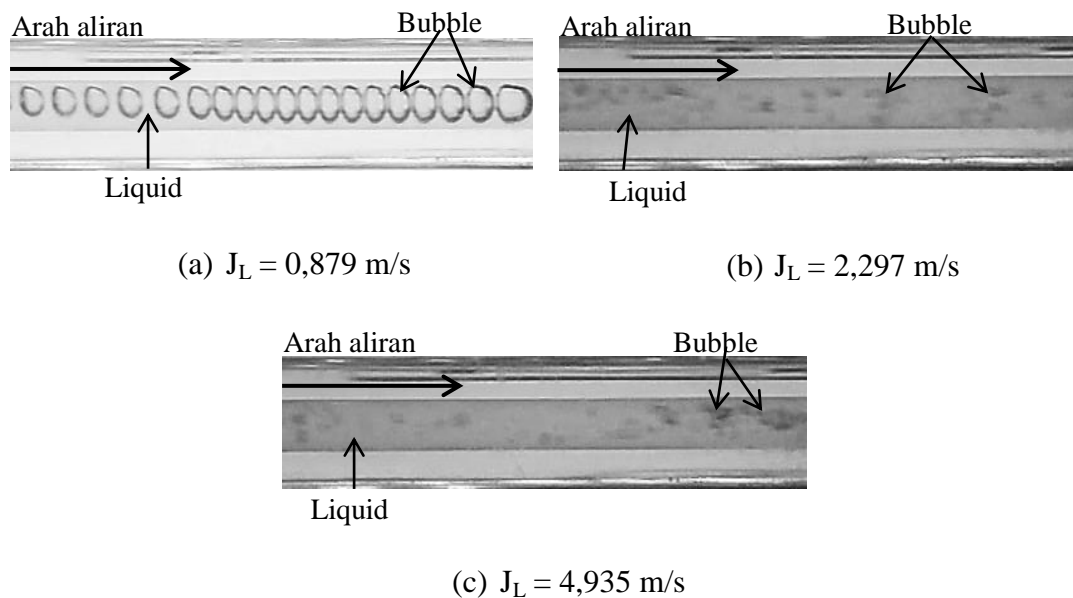
Pada penelitian aliran dua fase saluran mini dengan kemiringan 5 derajat dan ukuran diameter dalam pipa 1,6 mm telah dilakukan. Dalam penelitian ini campuran fluida yang digunakan adalah campuran 40% gliserin, 50% gliserin, 60% gliserin, dan 70% gliserin. Pengaturan debit fluida udara dan debit fluida cair dilakukan untuk mendapatkan data penelitian yang berupa video dan selanjutnya dilakukan pengamatan pola aliran yang terbentuk. Pola aliran yang telah diamati dipetakan dalam koordinat berdasarkan kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial larutan (J_L). Penambahan variasi viskositas dilakukan dalam penelitian ini untuk mengetahui perubahan pola aliran dengan perubahan nilai viskositas. Dari hasil pengamatan didapatkan lima pola aliran yang terbentuk : *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*.

4.1.1 Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* terbentuk pada saat J_G rendah dan J_L tinggi. Dalam kondisi ini, debit larutan akan mengalir memenuhi *mixing chamber* sedangkan debit udara yang rendah akan menerobos volume larutan yang mendominasi dalam *mixing chamber*. Seiring bertambahnya volume udara, dan mengecilnya luas permukaan *mixing chamber* menuju pipa dengan diameter 1,6 mm, maka udara akan berusaha mendorong larutan dan menyebabkan terbentuknya aliran dua fase pada saluran mini. Nilai tegangan permukaan larutan berpengaruh terhadap aliran udara seakan-akan terpotong menjadi gelembung-gelembung kecil.

Gambar 4.1 menunjukkan beberapa bentuk pola aliran *bubbly* yang terjadi dalam penelitian ini. Pada daerah awal koordinat pola aliran *bubbly*, intensitas munculnya pola aliran *bubbly* dengan kondisi beriringan. Pada konsentrasi gliserin

40% pola aliran *bubbly* teramati pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 0,879$ m/s. Dalam kondisi ini bentuk *bubble* yang teramati adalah bulat pada bagian hidungnya dengan ukuran mendekati diameter dalam pipa, kemudian lama-kelamaan akan terbentuk *bubble* yang bulat sempurna dan ukuran *bubble* semakin mengecil. Dengan menaikkan $J_L = 2,297$ m/s dan J_G konstan maka bentuk pola aliran *bubbly* menjadi lebih kecil dan terlihat seperti *dispersed bubble*. Apabila nilai J_L dinaikan menjadi $J_L = 4,935$ m/s, maka pola aliran *bubbly* yang terbentuk menjadi lebih sedikit, hal ini dikarenakan fluks volumetrik larutan lebih banyak dibandingkan dengan fluks volumetrik udara yang ada di dalam pipa. Peningkatan J_L dengan J_G konstan menyebabkan ukuran *bubble* semakin kecil dan / atau lebih renggang.

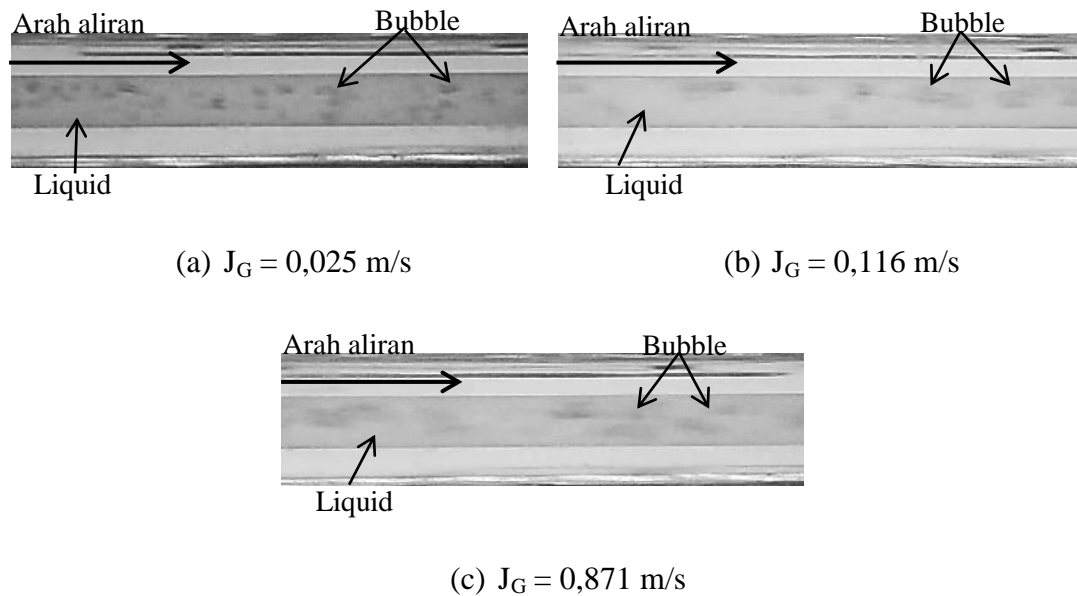


Gambar 4.1 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan $J_G = 0,025$ m/s dan berbagai variasi J_L .

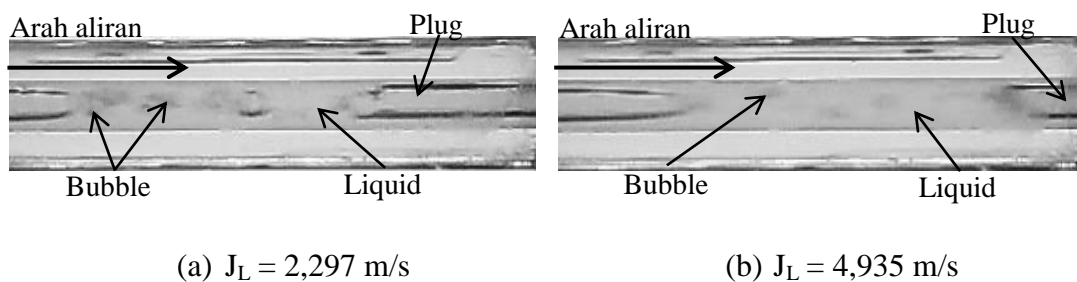
Gambar 4.2 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang terbentuk dengan variasi J_G dan J_L konstan. Terlihat pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s *bubble* yang terbentuk semakin mengecil dan renggang. Apabila J_G dinaikan menjadi $J_G = 0,116$ m/s dan J_L konstan, maka jarak antara pola aliran *bubbly* menjadi lebih rapat. Pada $J_G = 0,871$ m/s pola aliran menjadi lebih rapat dari pada pola aliran sebelumnya.

Gambar 4.3 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada konsentrasi 50% gliserin yang teramati pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s. Kemunculan

bubble ditandai dahulu dengan munculnya pola aliran *plug* yang kemudian diikuti dengan *bubble-bubble* kecil seperti *dispersed bubble*. Kemudian saat J_L dinaikan dan J_G konstan, intensitas *bubble* semakin rendah dan jarak antara *bubble* semakin renggang.

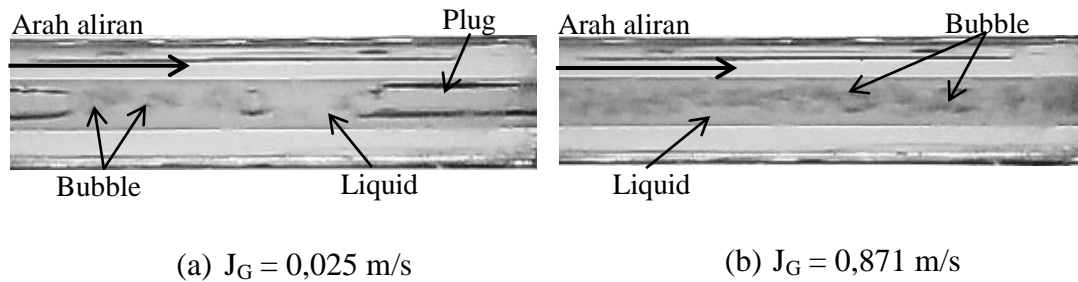


Gambar 4.2 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ dan berbagai variasi J_G .



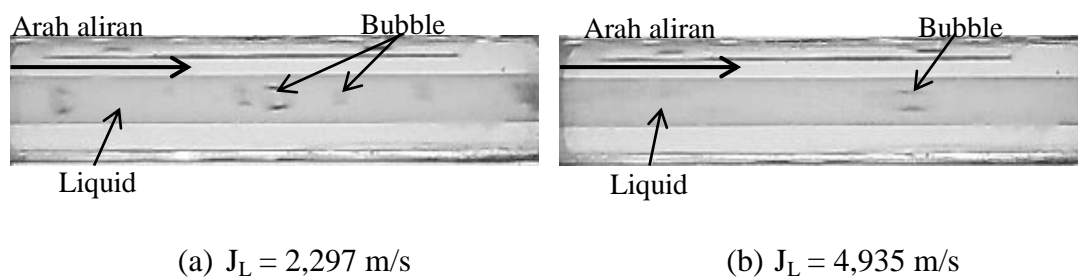
Gambar 4.3 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ dan berbagai variasi J_L .

Gambar 4.4 menunjukkan bentuk pola aliran *bubbly* dengan variasi J_G dan J_L konstan. Semakin tinggi nilai J_G dan J_L konstan, maka jarak *bubble* semakin rapat dan *bubble* yang muncul di antara *plug* semakin bertambah.



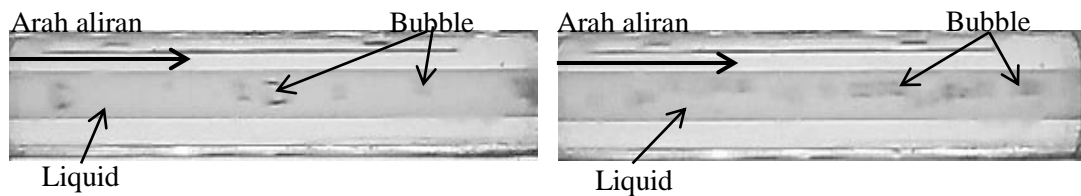
Gambar 4.4 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan $J_L = 2,297$ m/s dan berbagai variasi J_G .

Pada campuran konsentrasi 60% gliserin yang di tunjukan pada gambar 4.5, pola aliran *bubbly* teramati pada $J_G = 0,025$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s. Berbeda dengan pola aliran *bubbly* pada konsentrasi 40%, dan 50% gliserin, meningkatnya nilai J_L dengan J_G konstan membuat *bubble* yang terbentuk lebih teratur namun ukuranya belum seragam. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya nilai *kinematic viscosity*, sedangkan nilai tegangan permukaan menurun, sehingga membuat bentuk *bubble* lebih bulat dan frekuensi *bubble* yang muncul berkurang.



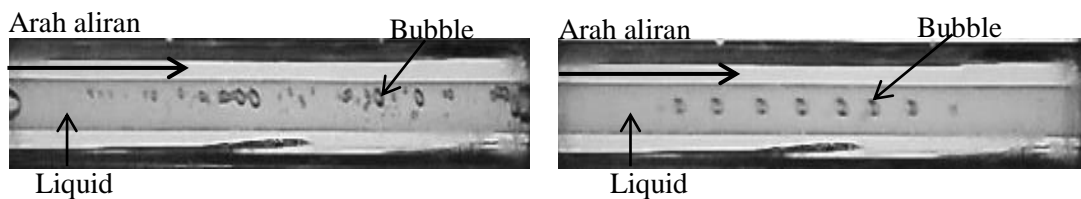
Gambar 4.5 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan $J_G = 0,025$ m/s dan berbagai variasi J_L .

Gambar 4.6 menunjukkan pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan variasi J_G dan J_L tetap. Dapat dilihat pada $J_G = 0,871$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s, *bubble* yang terbentuk semakin seragam dan frekuensi *bubble* yang muncul semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh fluks volumetrik udara lebih besar dari pada fluks volumetrik larutan.

(a) $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ (b) $J_G = 0,871 \text{ m/s}$

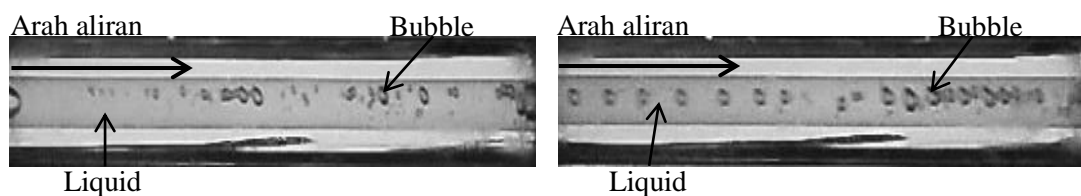
Gambar 4.6 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ dan berbagai variasi J_G .

Pada campuran 70% gliserin dengan variasi J_L dan J_G konstan, bentuk pola aliran *bubbly* dapat dilihat pada gambar 4.7. Dapat dilihat kenaikan nilai J_L dengan J_G tetap membuat *bubble* yang terbentuk semakin teratur dan seragam.

(a) $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ (b) $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.7 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 70% gliserin dengan $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ dan berbagai variasi J_L .

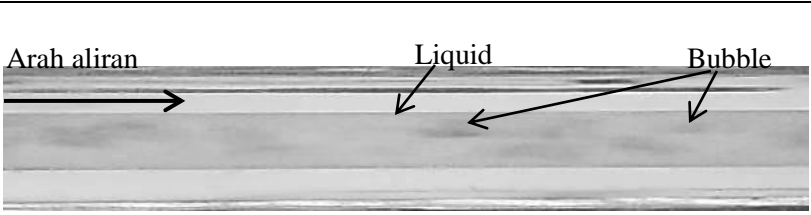
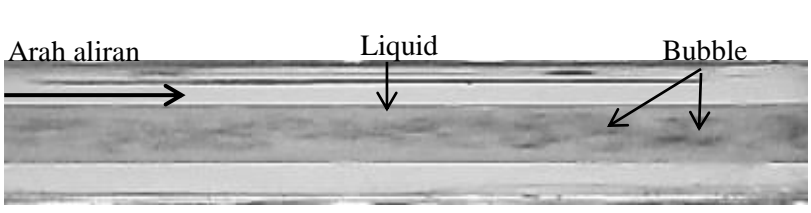
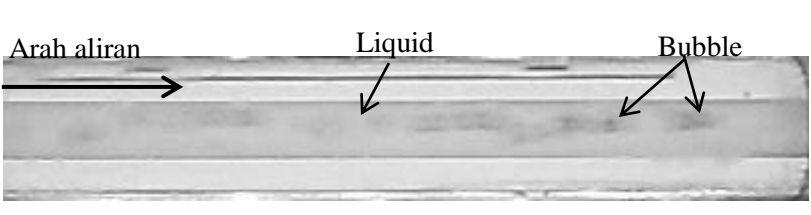
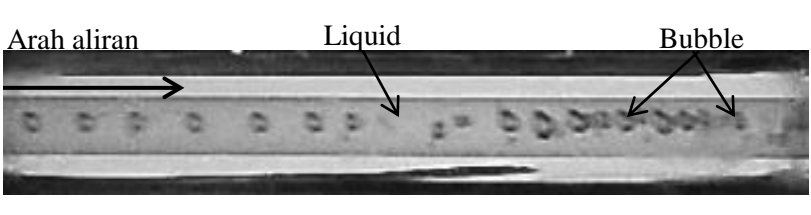
Gambar 4.8 menunjukkan semakin besar nilai J_G dengan nilai J_L konstan, maka frekuensi *bubble* yang terbentuk semakin banyak dan jarak antar *bubble* lebih rapat. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya nilai *specific gravity* dan *kinematic viscosity* sedangkan nilai tegangan permukaan menurun.

(a) $J_G = 0,025 \text{ m/s}$ (b) $J_G = 0,871 \text{ m/s}$

Gambar 4.8 Pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada campuran 70% gliserin dengan $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ dan berbagai variasi J_G .

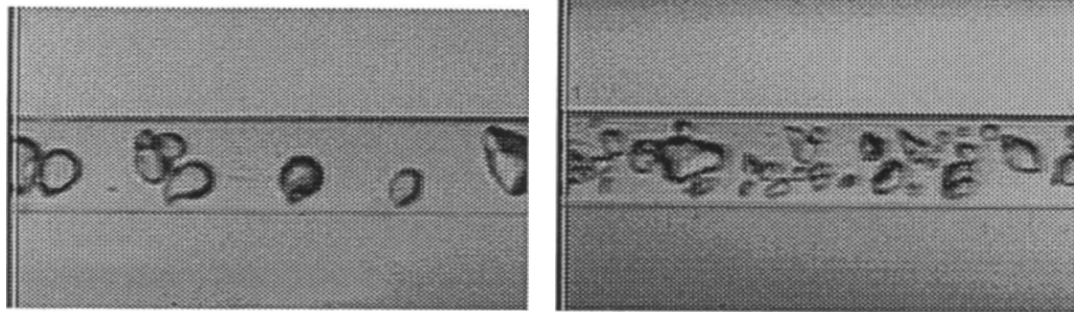
Perbandingan bentuk pola aliran *bubble* yang terjadi pada J_G dan J_L yang sama dengan perbandingan konsentrasi larutan di tampilan pada tabel 4.1. Dapat dilihat bahwa semakin naik konsentrasi larutan, maka bentuk pola aliran *bubbly* semakin teratur dan *dispersed bubble* semakin jarang di temukan. Semakin besar konsentrasi larutan membuat nilai tegangan permukaan menurun dan nilai *kinematic viscosity* meningkat, sehingga menyebabkan bentuk *bubble* lebih seragam.

Tabel 4.1 Perbandingan pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada $J_G = 0,871$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s.

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

Hasil dari pola aliran yang terbentuk dari penelitian ini memiliki kemiripan dengan penelitian Triplet dkk. (1999). Dalam penelitiannya Triplett dkk. (1999) menggunakan pipa berpenampang melingkar yang berdiameter 1,1 mm dan 1,45 mm

dengan fluida kerja berupa udara-air. Dalam penelitiannya pola aliran *bubbly* yang teramati memiliki kesamaan bentuk dengan hasil yang dilakukan dalam eksperimen ini. Pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa bentuk pola aliran *bubbly* yang memiliki ukuran kurang dari diameter dalam pipa dan seiring dengan kenaikan J_G dan J_L akan muncul *dispersed bubble*.



(a) $J_G = 0,839$ m/s ; $J_L = 3,021$ m/s

(b) $J_G = 0,396$ m/s ; $J_L = 5,997$ m/s

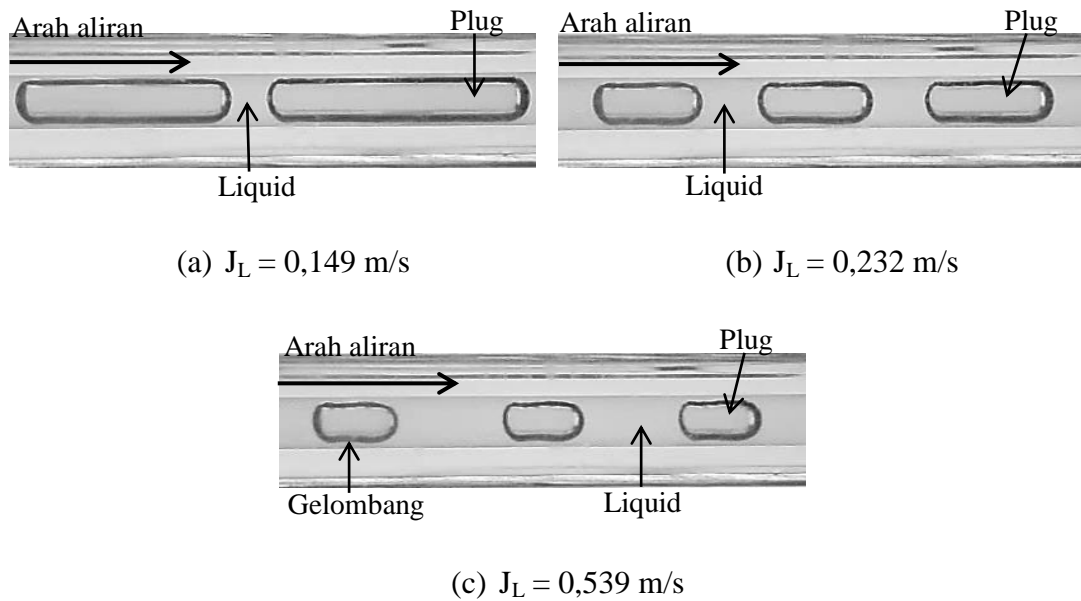
Gambar 4.9 Pola aliran *bubbly* yang teramati: (a) *bubbly* dengan bentuk *spherical* dengan ekor runcing, (b) *bubble* terdispersi. (Triplett dkk., 1999)

4.1.2 Pola Aliran *Plug*

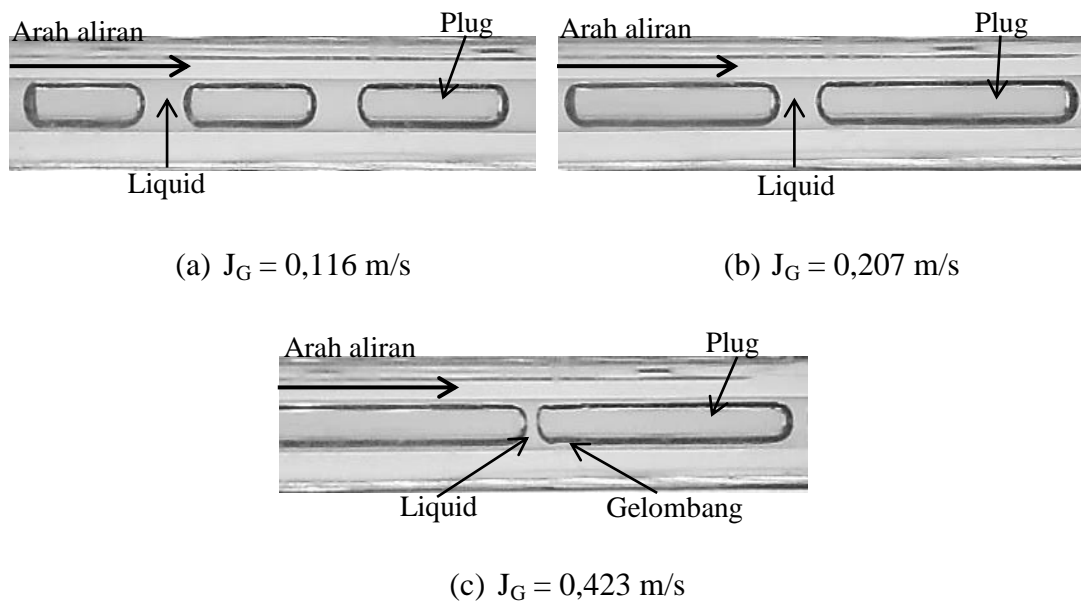
Pola aliran *plug* terbentuk pada saat J_G dan J_L rendah, pola ini merupakan pola aliran *bubbly* yang memanjang dengan panjang lebih dari diameter dalam pipa. Perpanjangan *bubble* dikarenakan meningkatnya intensitas udara dalam aliran. Bentuk dari pola aliran *plug* seperti kapsul, ataupun peluru dan panjangnya beragam. Pola aliran *plug* terjadi dengan teratur dan konsisten pada awal J_G dan J_L , namun seiring dengan kenaikan kecepatan superficial bentuk pola aliran *plug* akan berubah. Pola aliran ini merupakan pengganti pola aliran *stratified* yang terbentuk dalam pipa konvensional. Pada pipa mini, efek gaya kapiler menyebabkan tidak munculnya pola aliran *stratified*. Saat level larutan pada *mixing chamber* mulai meningkat dan bersiap memasuki saluran bersama dengan aliran udara, gaya kapiler cairan akan membentuk *liquid bridge*, yang merupakan awal terbentuknya pola aliran *plug*.

Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan bentuk pola aliran *plug* yang terjadi pada konsentrasi 40% gliserin dengan $J_G = 0,207$ m/s dan variasi J_L . Pada kondisi ini pola aliran *plug* memiliki bentuk yang simetris antara hidung dan ekornya yakni berbentuk bulat. Pola aliran *plug* bergerak dengan kecepatan yang konsisten dan merata saat dilakukan pengambilan data dengan kondisi tertentu. Bentuk pola aliran

plug semakin memendek dengan dinaikannya J_L dan J_G tetap. Terlihat pada $J_L = 0,539$ m/s dan J_G konstan, pola aliran *plug* semakin mengecil dan mengalami gangguan berupa gelombang di bagian ekor. Hal ini disebabkan oleh nilai *kinematic viscosity* yang kecil sehingga pola aliran tidak mampu mempertahankan bentuknya.



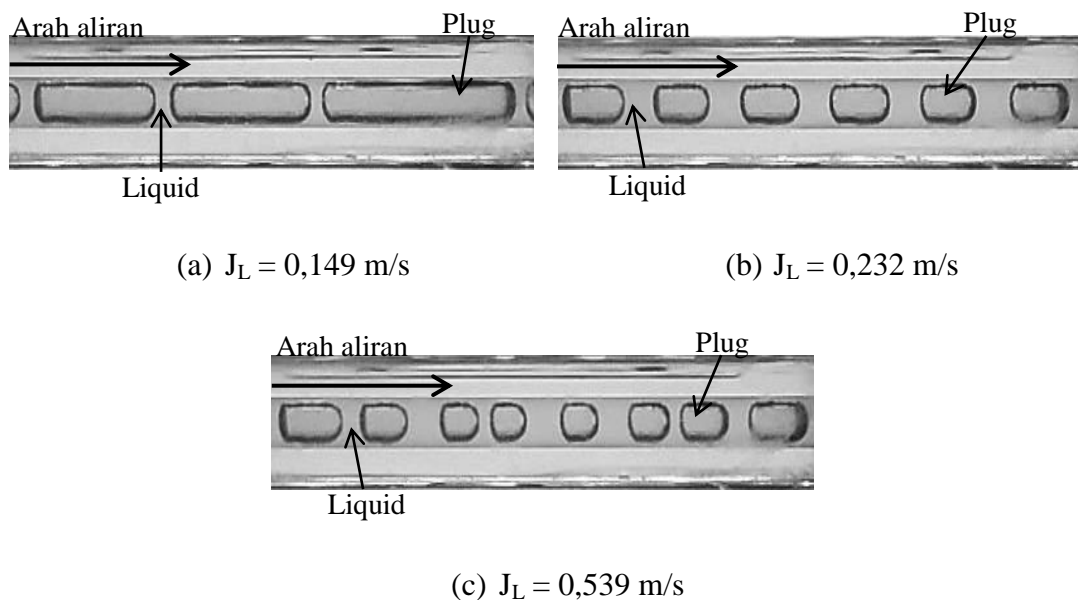
Gambar 4.10 Pola aliran *plug* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan $J_G = 0,207$ m/s dan berbagai variasi J_L .



Gambar 4.11 Pola aliran *plug* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan $J_L = 0,149$ m/s dan berbagai variasi J_G .

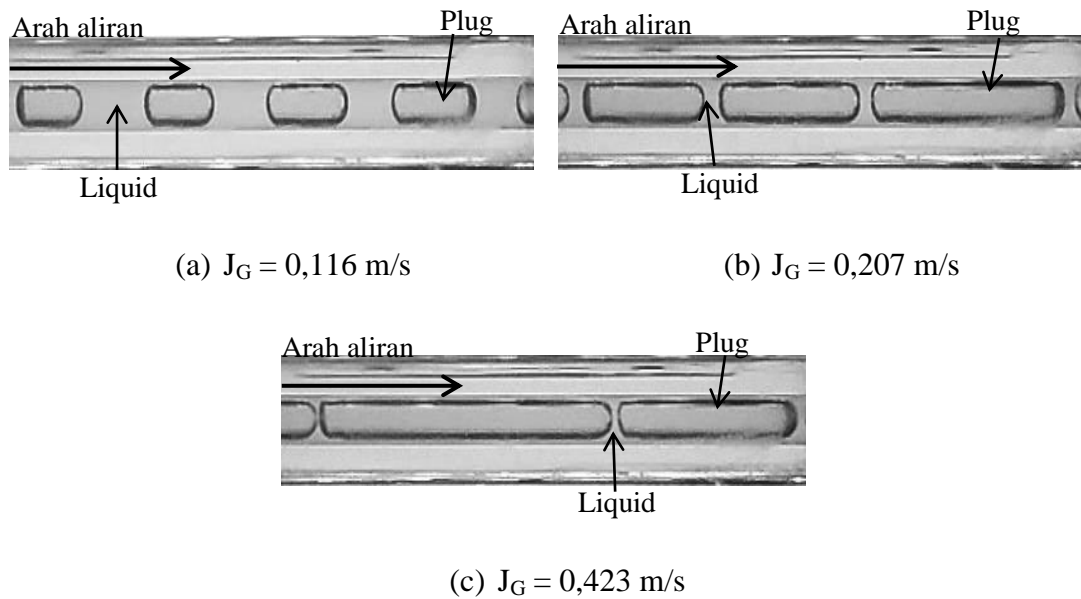
Pola aliran *plug* semakin memanjang pada saat kecepatan superfisial gas dinaikan dan kecepatan superfisial larutan konstan yang ditunjukkan pada gambar 4.11. dapat dilihat pada $J_G = 0,207$ m/s dan J_L konstan, pola aliran *plug* yang terbentuk semakin rapat dan terlihat ada gelombang di bagian ekornya.

Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan bentuk pola aliran *plug* yang terjadi pada konsentrasi 50% gliserin dengan $J_G = 0,207$ m/s dan variasi J_L . Pada kondisi ini bentuk pola aliran *plug* tidak jauh berbeda dengan konsentrasi 40% gliserin, namun ukuran pola aliran *plug* mengalami penyusutan atau lebih kecil. Dapat dilihat pada $J_L = 0,539$ m/s dengan J_G konstan, jarak antara pola aliran *plug* semakin menjauh.

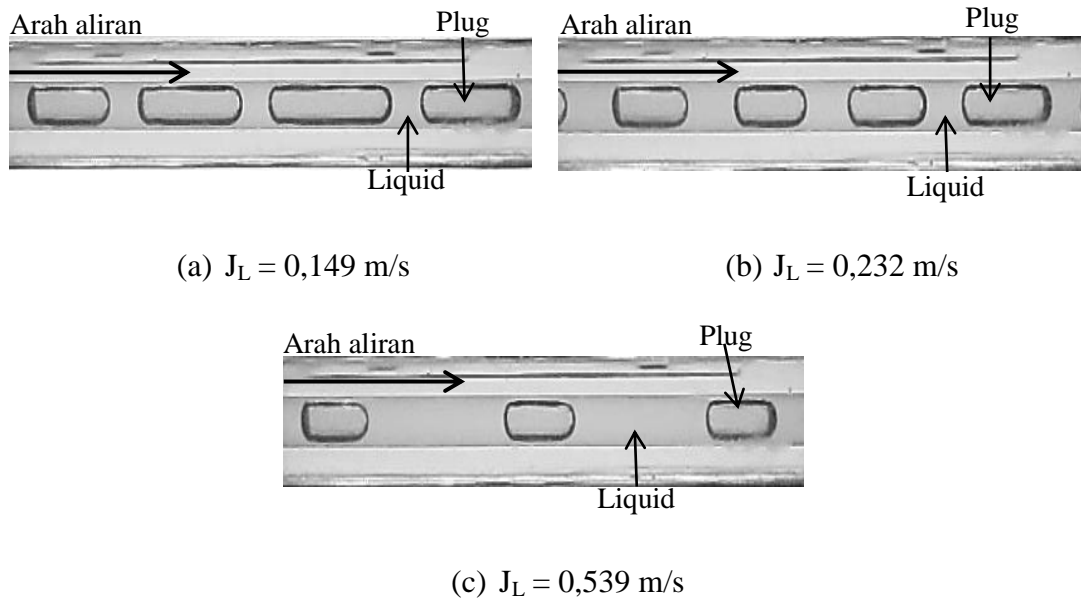


Gambar 4.12 Pola aliran *plug* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan $J_G = 0,207$ m/s dan berbagai variasi J_L .

Perbandingan bentuk pola aliran *plug* pada konsentrasi 50% dengan $J_L = 0,149$ m/s dengan variasi J_G ditunjukkan pada gambar 4.13. Peningkatan J_G membuat pola aliran *plug* yang terbentuk semakin panjang dan jarak antara pola semakin mendekat. Dapat dilihat pada $J_G = 0,423$ m/s dan J_L konstan, pola aliran *plug* terlihat seperti akan menyatu, jika nilai J_L dinaikan lagi maka pola aliran *slug-annular* akan terbentuk.



Gambar 4.13 Pola aliran *plug* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ dan berbagai variasi J_G .

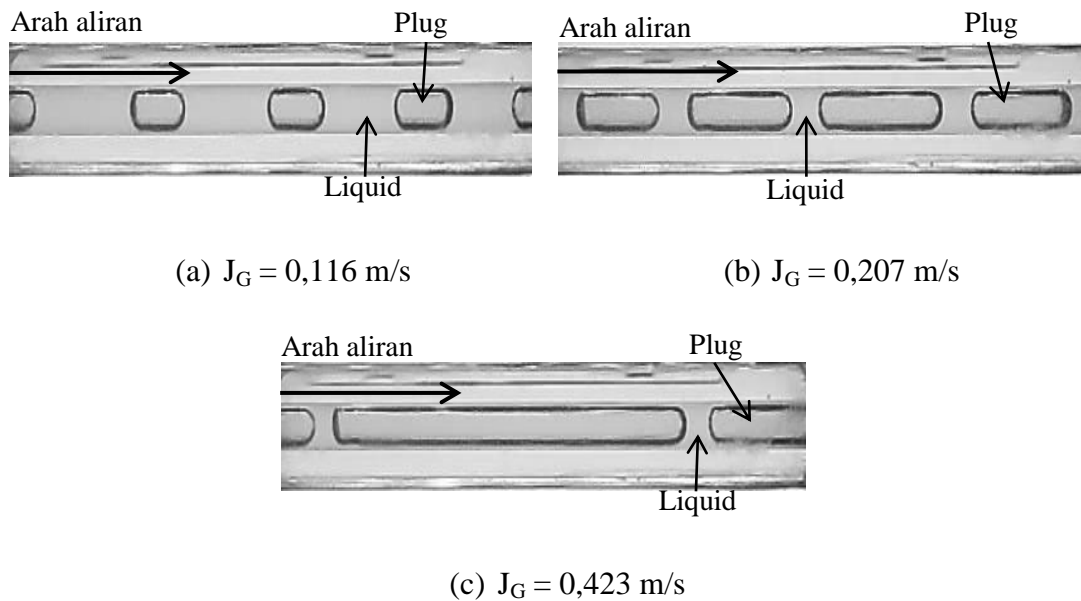


Gambar 4.14 Pola aliran *plug* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan $J_G = 0,207 \text{ m/s}$ dan berbagai variasi J_L .

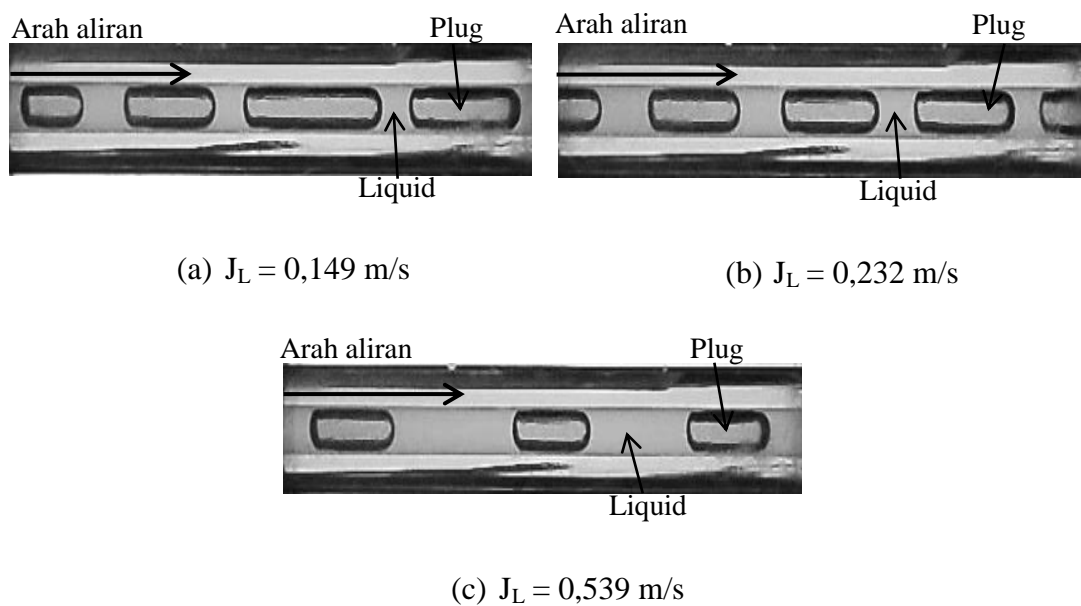
Gambar 4.14 menunjukkan perbandingan bentuk pola aliran *plug* yang terjadi pada konsentrasi 60% gliserin dengan $J_G = 0,207 \text{ m/s}$ dan variasi J_L . Pada kondisi ini bentuk pola aliran *plug* sama seperti pada konsentrasi 40 % dan 50% gliserin.

Pengaruh nilai *kinematic viscosity* membuat pola aliran *plug* semakin pendek dengan nilai J_G dan J_L yang sama pada konsentrasi sebelumnya.

Perbandingan bentuk pola aliran *plug* pada konsentrasi 60% dengan $J_L = 0,149$ m/s dan variasi J_G ditunjukkan pada gambar 4.15.



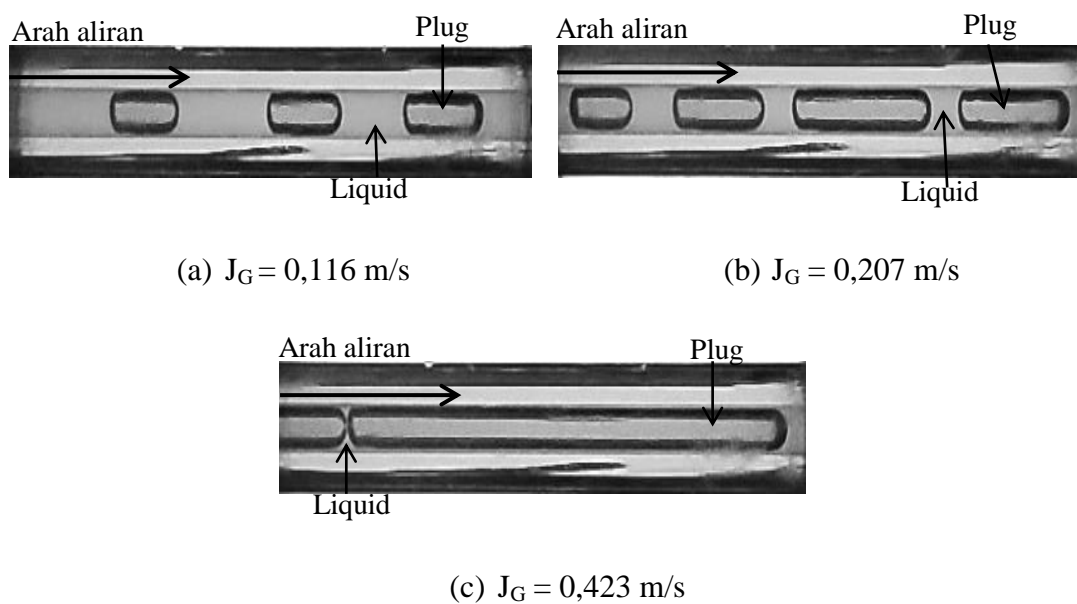
Gambar 4.15 Pola aliran *plug* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan $J_L = 0,149$ m/s dan berbagai variasi J_G .



Gambar 4.16 Pola aliran *plug* yang terbentuk pada campuran 70% gliserin dengan $J_G = 0,207$ m/s dan berbagai variasi J_L .

Gambar 4.16 menunjukkan perbandingan bentuk pola aliran *plug* yang terjadi pada konsentrasi 70% gliserin dengan $J_G = 0,207$ m/s dan variasi J_L . Pada kondisi ini bentuk pola aliran *plug* terlihat lebih stabil dan menghilangnya gelombang yang terjadi pada ekor *plug*.

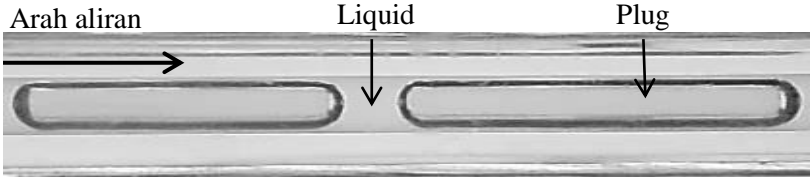
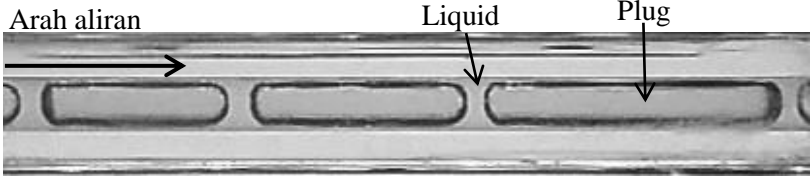
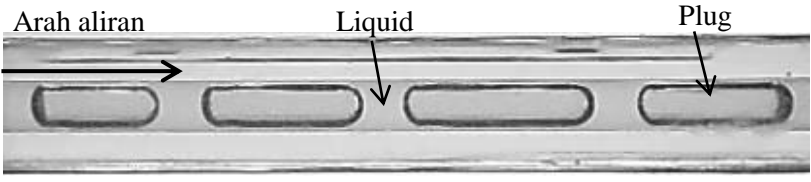
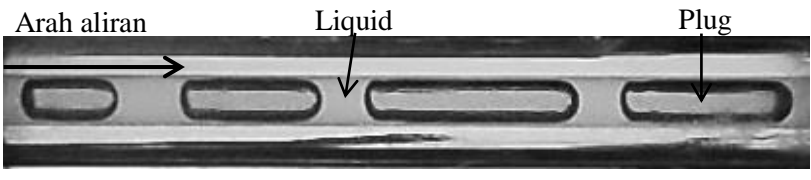
Perbandingan bentuk pola aliran *plug* pada konsentrasi 70% dengan $J_L = 0,149$ m/s dan J_G tetap ditunjukkan pada gambar 4.17. Dapat dilihat pada $J_G = 0,423$ m/s pola aliran *plug* terlihat lebih panjang.



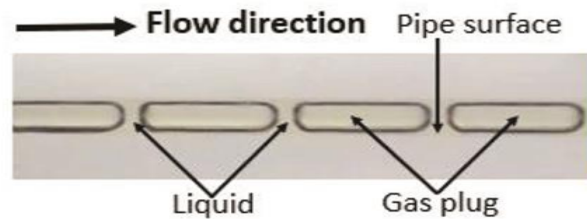
Gambar 4.17 Pola aliran *plug* yang terbentuk pada campuran 70% gliserin dengan $J_L = 0,149$ m/s dan berbagai variasi J_G .

Seiring dengan bertambahnya kecepatan superfisial larutan maka bentuk pola aliran *plug* semakin pendek dan mirip seperti pola aliran *bubbly*. Sedangkan bertambahnya kecepatan superfisial gas maka pola aliran *plug* akan semakin panjang dan mirip aliran *slug-annular*. Bentuk pola aliran *plug* dipengaruhi juga oleh nilai viskositas larutan, semakin tinggi nilai viskositas larutan dengan nilai J_G dan J_L yang sama maka pola aliran *plug* yang terbentuk semakin pendek. Dapat dilihat pada tabel 4.2 yang merupakan perbandingan bentuk pola aliran *plug* dengan nilai J_G dan J_L yang sama namun berbeda konsentrasi larutan.

Tabel 4.2 Perbandingan pola aliran *plug* untuk masing – masing kondisi larutan konsentrasi gliserin pada $J_G = 0,207$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s.

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

Hasil dari pola aliran yang terbentuk dari penelitian ini memiliki kemiripan dengan penelitian Sudarja dkk. (2018). Dalam penelitiannya Sudarja dkk. (2018) menggunakan pipa kaca yang berdiameter 1,6 mm dengan fluida kerja berupa udara dan campuran akuades – gliserin. Dalam penelitiannya pola aliran *plug* yang teramati memiliki kesamaan bentuk dengan hasil yang dilakukan dalam eksperimen ini. Pada gambar 4.18 menunjukkan bahwa bentuk pola aliran *plug* yang memiliki ukuran lebih dari diameter dalam pipa.

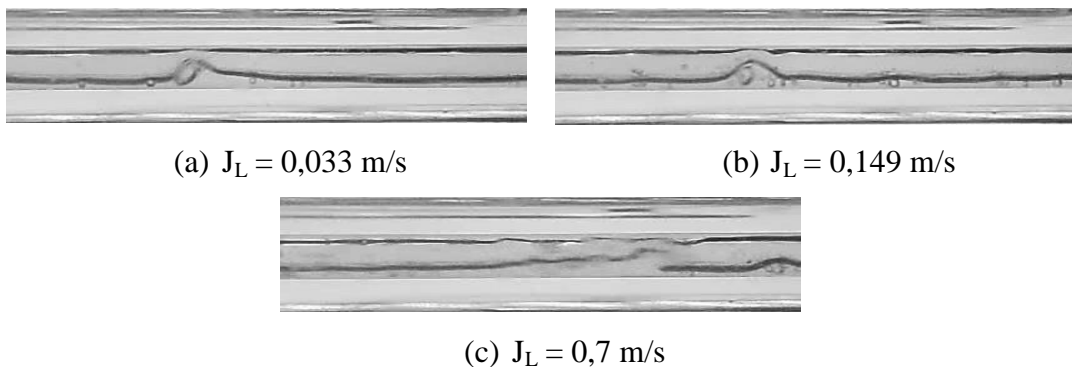


Gambar 4.18 Pola aliran *plug* yang teramati pada $J_G = 0,116 \text{ m/s}$; $J_L = 0,033 \text{ m/s}$
(Sudarja dkk, 2018)

4.1.3 Pola Aliran *Slug-Annular*

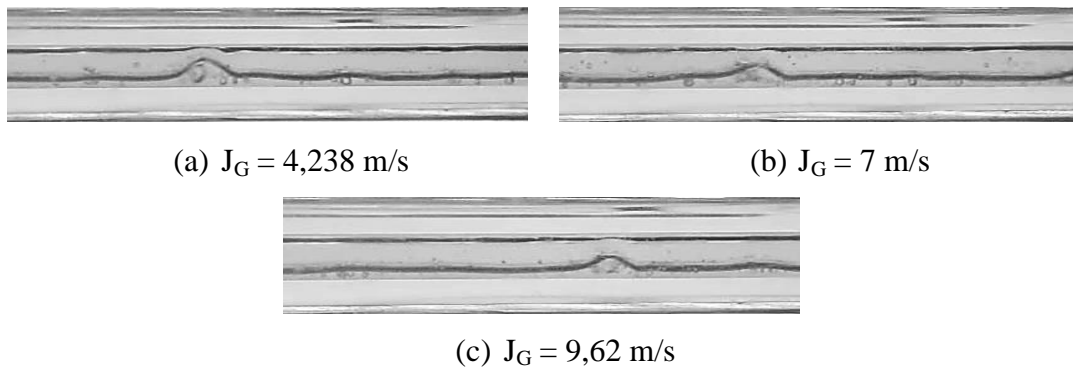
Pola aliran *slug-annular* merupakan pola peralihan dari pola aliran *plug* menuju pola aliran *annular*. Pola aliran *slug-annular* terjadi pada saat aliran udara sudah mengalir secara berkelanjutan, sementara aliran fluida cair yang berusaha menembus aliran udara yang muncul di sekelilingnya dan pada bagian bawah lapisan fluida cair lebih tebal dibandingkan dengan lapisan di bagian atas, selanjutnya pada kondisi tertentu lapisan fluida cair pada bagian bawah semakin menebal dan membentuk gelombang. Pola aliran *slug-annular* terbentuk karena lapisan air pada bagian bawah lebih tebal di bandingkan bagian atas. *Frothy bubble* sering teramati pada pola aliran ini dan sewaktu-waktu akan pecah. Hal ini mengakibatkan terjadinya gelombang pada larutan, atau membuat kantong udara menjadi terpotong dan membentuk pola aliran *plug*.

Dapat dilihat pada gambar 4.19 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi gliserin 40% dengan $J_G = 4,238 \text{ m/s}$ dan variasi J_L .



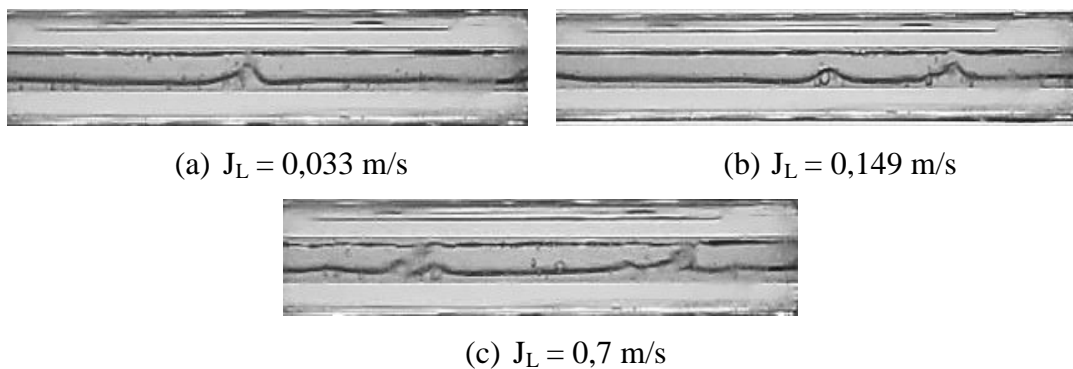
Gambar 4.19 Pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.20 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi 40 % dengan $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ dan variasi J_G .



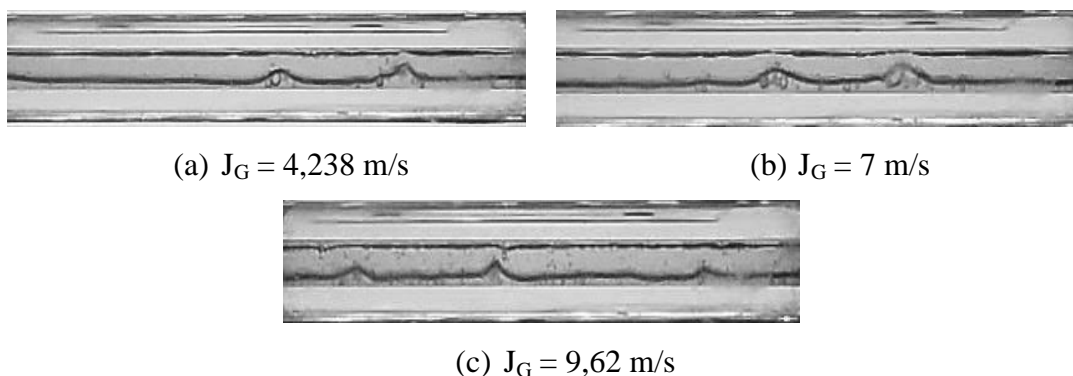
Gambar 4.20 Pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.21 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi 50% gliserin dengan $J_G = 4,238 \text{ m/s}$ dan variasi J_L .



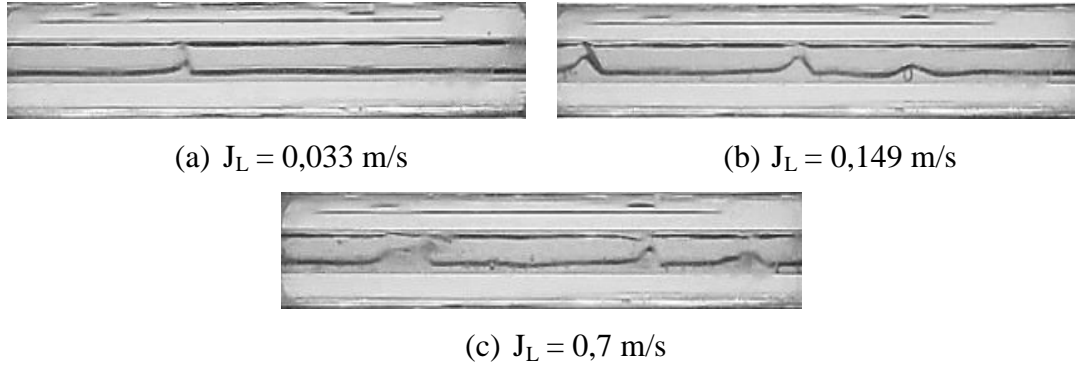
Gambar 4.21 Pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.22 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi 50 % dengan $J_L = 0,149 \text{ m/s}$ dan variasi J_G .



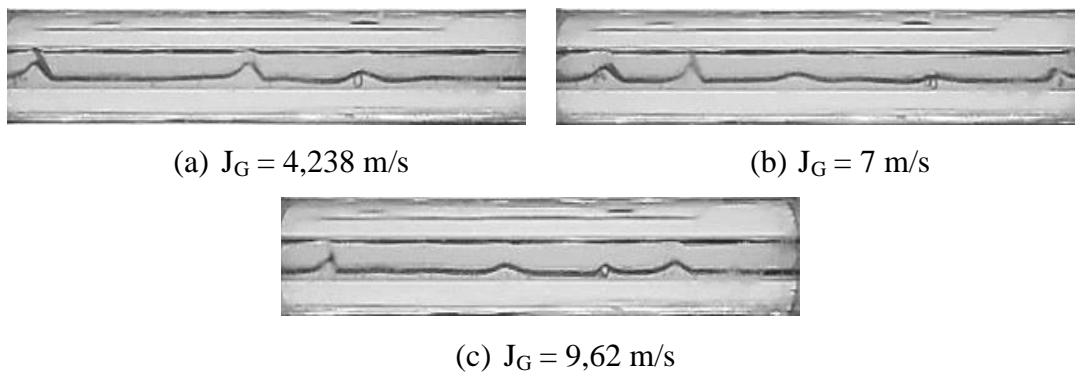
Gambar 4.22 Pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.23 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi 60% gliserin dengan $J_G = 4,238$ m/s dan variasi J_L .

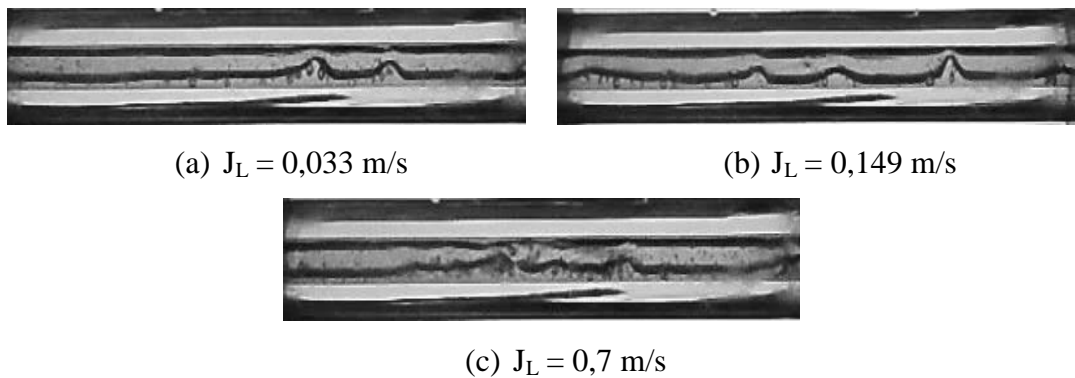


Gambar 4.23 Pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.24 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi 60 % dengan $J_L = 0,149$ m/s dan variasi J_G .

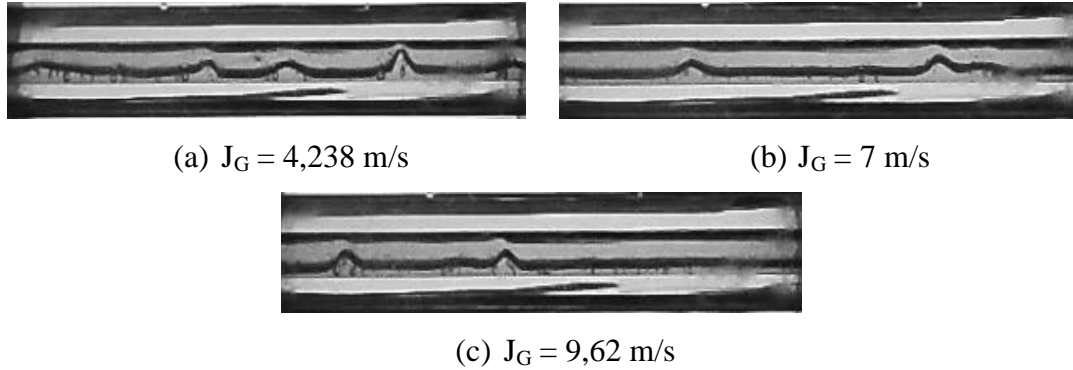


Gambar 4.24 Pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan variasi J_G .



Gambar 4.25 Pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada campuran 70% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.25 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi 70% gliserin dengan $J_G = 4,238$ m/s dan variasi J_L .




Gambar 4.26 Pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada campuran 70% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.26 menunjukkan pola aliran *slug-annular* pada konsentrasi 70 % dengan $J_L = 0,149$ m/s dan variasi J_G .

Tabel 4.3 Perbandingan pola aliran *slug-annular* pada berbagai kondisi konsentrasi gliserin pada kondisi $J_G = 4,238$ m/s dan $J_L = 0,149$ m/s.

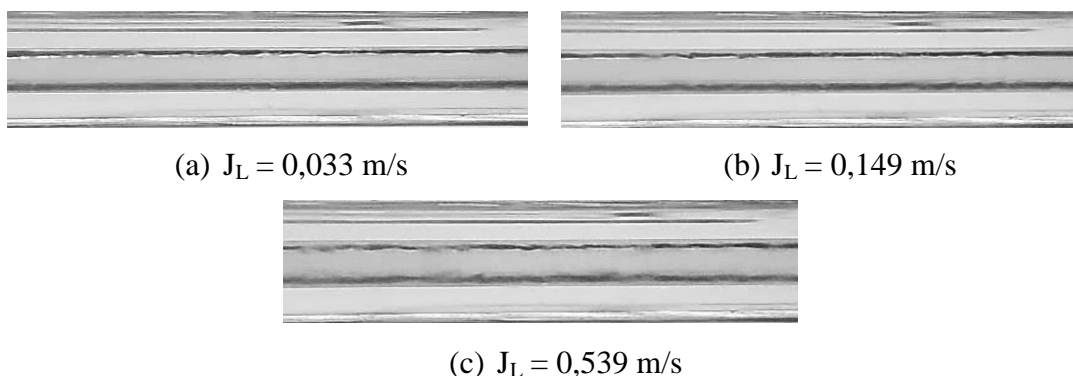
No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
1	40%	
2	50%	
3	60%	

No	Konsentrasi Gliserin	Pola aliran
4	70%	

Peningkatan viskositas cairan menyebabkan semakin menebalnya lapisan air yang berada di sekeliling aliran udara yang melaju secara berkelanjutan dan sesekali mengalami gangguan berupa gelombang air yang ingin memutus laju aliran udara. Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan nilai J_G dan J_L yang sama sedangkan konsentrasi gliserin bervariasi dapat dilihat pada tabel 4.3.

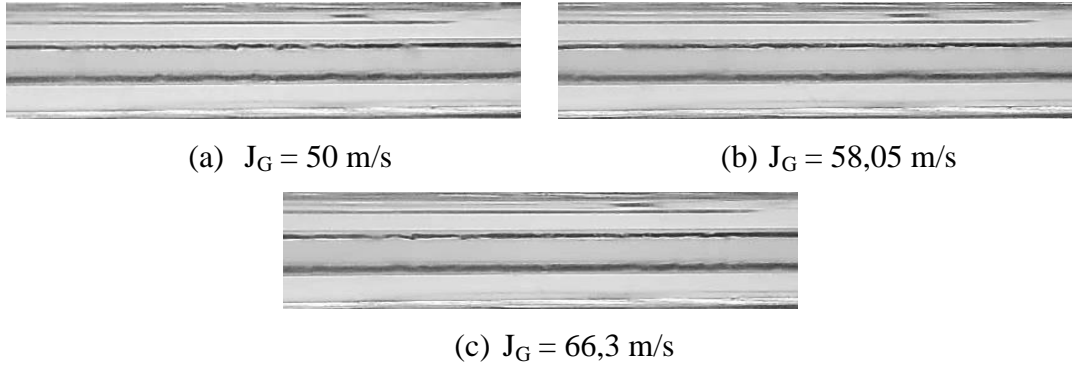
4.1.4 Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* merupakan kelanjutan dari pola aliran *slug-annular* yang kecepatan superfisial gasnya dinaikan secara terus menerus hingga batas maksimal. Hal ini menyebabkan gelombang yang awalnya berusaha memutus aliran udara perlahan mulai menghilang hingga terbentuk suatu aliran dimana aliran udara mengalir secara berkelanjutan dengan lapisan larutan yang mengalir di sekelilingnya dengan sedikit riak. Ketebalan larutan bagian atas dan bawah tidak jauh berbeda, sehingga aliran ini sering disebut juga pola aliran ‘cincin’. Jika dilihat dari depan akan tampak larutan yang seakan-akan melingkari inti udara dan seperti membentuk cincin.



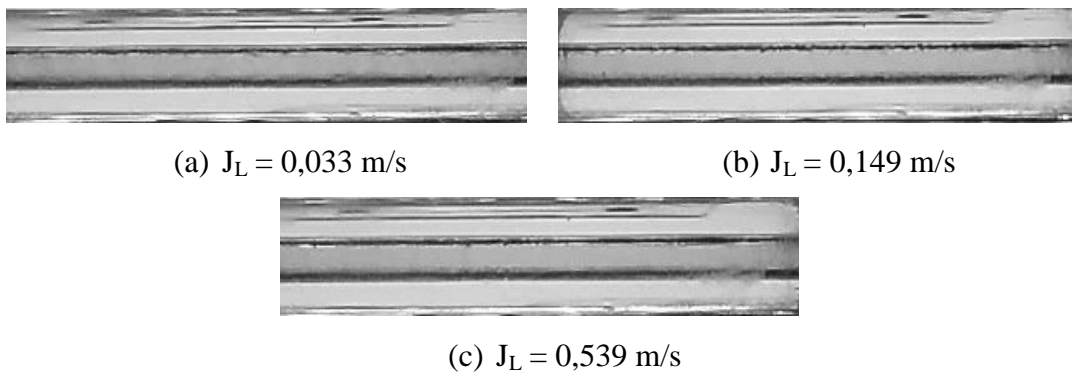
Gambar 4.27 Pola aliran *annular* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.27 menunjukkan pola aliran *annular* pada konsentrasi 40% gliserin dengan $J_G = 66,3$ m/s dan variasi J_L .

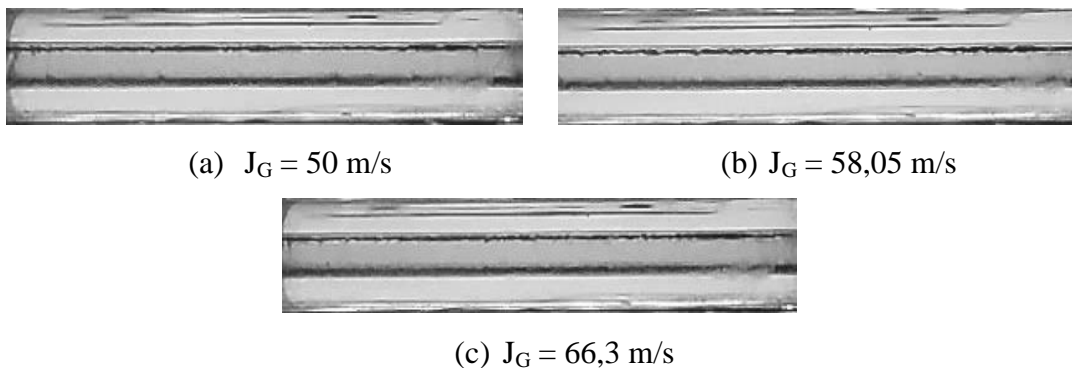


Gambar 4.28 Pola aliran *annular* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.28 menunjukkan pola aliran *annular* pada konsentrasi 40 % dengan $J_L = 0,149$ m/s dan variasi J_G .

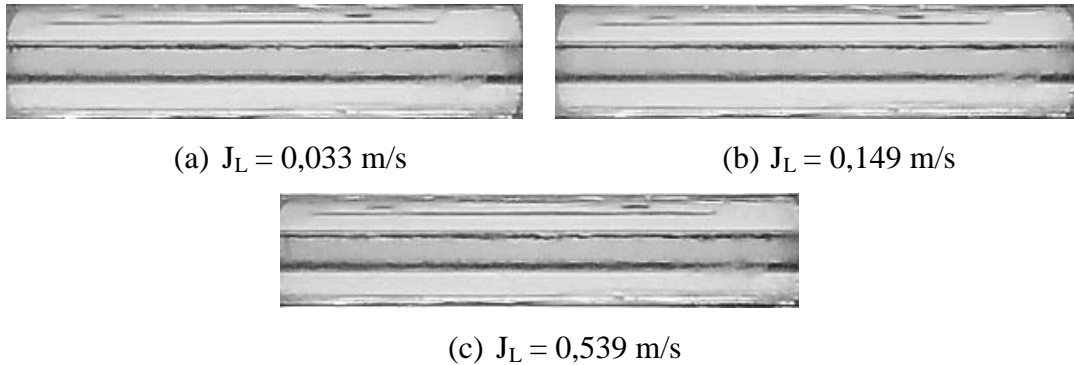


Gambar 4.29 Pola aliran *annular* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan variasi J_L .



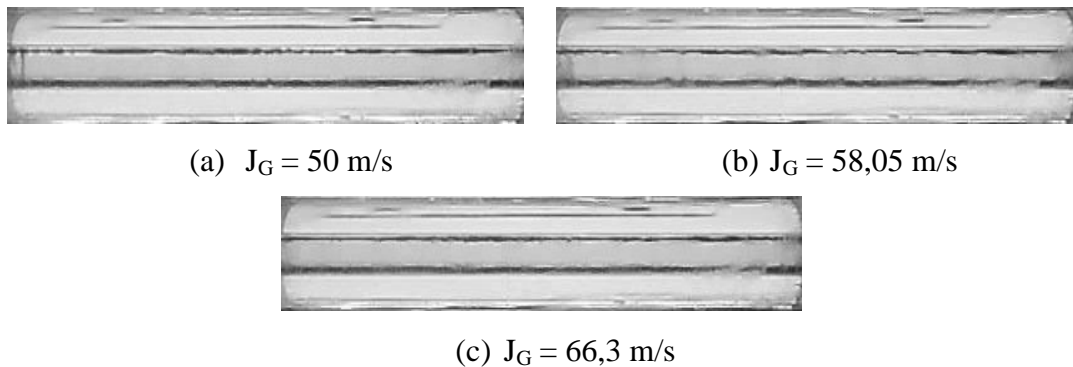
Gambar 4.30 Pola aliran *annular* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.29 menunjukkan pola aliran *annular* pada konsentrasi 50% gliserin dengan $J_G = 66,3$ m/s dan variasi J_L . Sedangkan pada gambar 4.30 menunjukkan pola aliran *annular* pada konsentrasi 50 % dengan $J_L = 0,149$ m/s dan variasi J_G .



Gambar 4.31 Pola aliran *annular* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan variasi J_L .

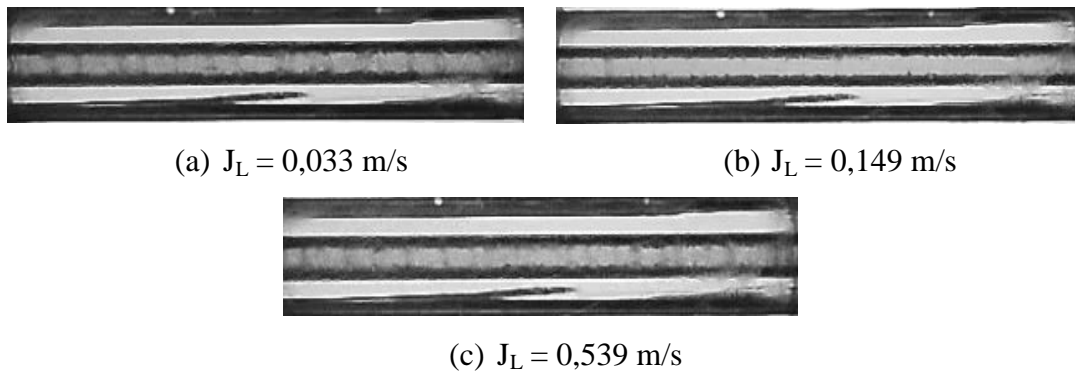
Gambar 4.31 menunjukkan pola aliran *annular* pada konsentrasi 60% gliserin dengan $J_G = 66,3$ m/s dan variasi J_L .



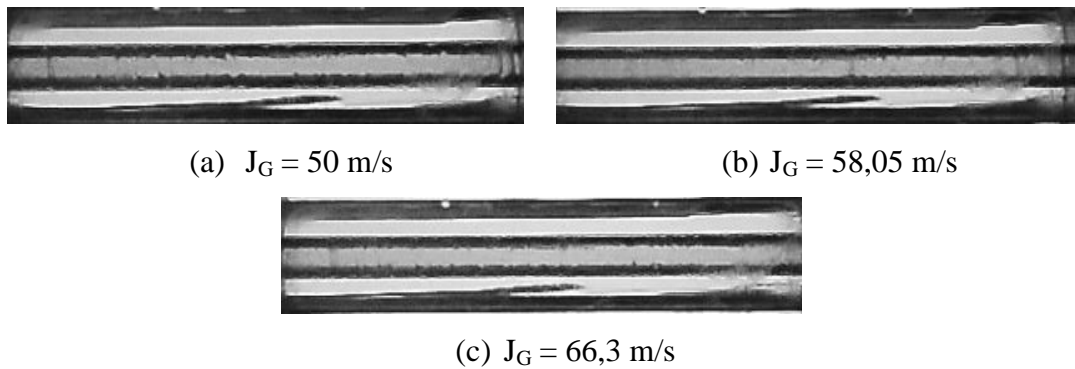
Gambar 4.32 Pola aliran *annular* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.32 menunjukkan pola aliran *annular* pada konsentrasi 60 % dengan $J_L = 0,149$ m/s dan variasi J_G .

Gambar 4.33 menunjukkan pola aliran *annular* pada konsentrasi 70% gliserin dengan $J_G = 66,3$ m/s dan variasi J_L . Sedangkan pada gambar 4.34 menunjukkan pola aliran *annular* pada konsentrasi 70 % dengan $J_L = 0,149$ m/s dan variasi J_G .



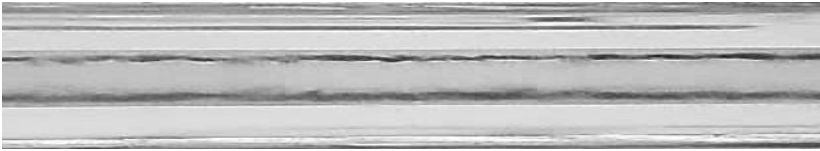
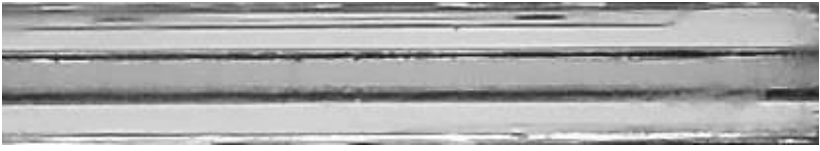
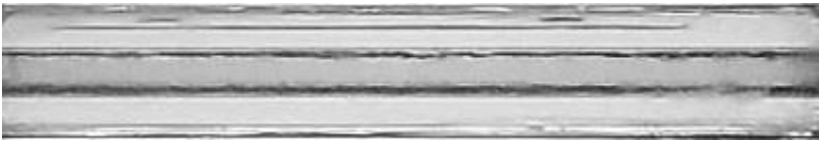

Gambar 4.33 Pola aliran *annular* yang terbentuk pada campuran 70% gliserin dengan variasi J_L .



Gambar 4.34 Pola aliran *annular* yang terbentuk pada campuran 70% gliserin dengan variasi J_G .

Pola aliran *annular* mulai terbentuk pada $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 0,033$ m/s. Dalam aliran ini, *frothy bubble* yang sebelumnya teramati pada pola aliran *slug-annular* sudah tidak muncul lagi. Bentuk pola aliran *annular* tidak memiliki perbedaan yang signifikan pada konsentrasi larutan gliserin 40%, 50%, 60%, dan 70% seperti yang di tunjukan pada Tabel 4.4. Pengaruh gaya inersia yang lebih besar dibandingkan dengan pengaruh viskositas dan tegangan permukaan menyebabkan pembentukan pola aliran *annular* tidak begitu berbeda antara masing – masing konsentrasi larutan. Pengaruh kenaikan kecepatan superfisial gas dan viskositas larutan menyebabkan riak yang muncul semakin berkurang.

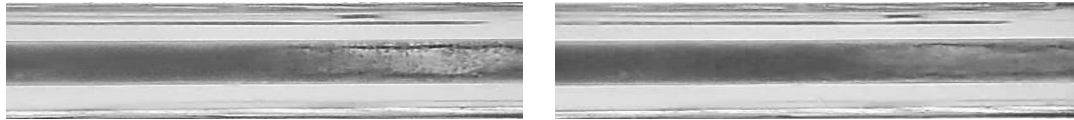
Tabel 4.4 Perbandingan pola aliran *annular* pada berbagai kondisi konsentrasi gliserin pada kondisi $J_G = 66,3$ m/s dan $J_L = 0,539$ m/s.

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

4.1.5 Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* terjadi pada saat kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial larutan tinggi, sehingga inti udara maupun larutan menjadi acak. Dengan naiknya volume udara maupun larutan pada aliran *slug-annular* dan *annular* membuat lapisan larutan pada dinding pipa semakin tebal, aliran udara yang sebelumnya mengalir secara berkelanjutan menjadi terganggu dengan volume larutan dalam jumlah besar. Besarnya jumlah volume larutan yang mengalir seharusnya dapat terbentuk pola aliran *slug*, namun laju udara yang besar membuat larutan terdispersi menjadi ukuran yang sangat kecil dan mengalir dengan kecepatan yang

tinggi. Sehingga dalam pengamatan hanya terlihat sebagai bayangan hitam pada aliran inti udara yang diselimuti aliran fluida cair yang mengalir dengan cepat.

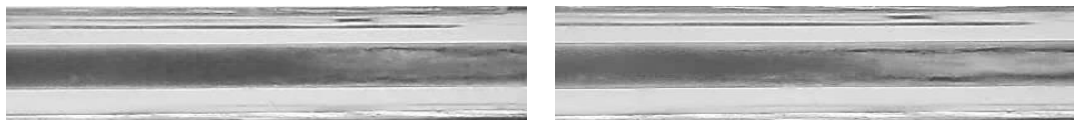


(a) $J_L = 2,297 \text{ m/s}$

(b) $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.35 Pola aliran *churn* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.35 menunjukkan pola aliran *churn* pada konsentrasi 40% gliserin dengan $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ dan variasi J_L .

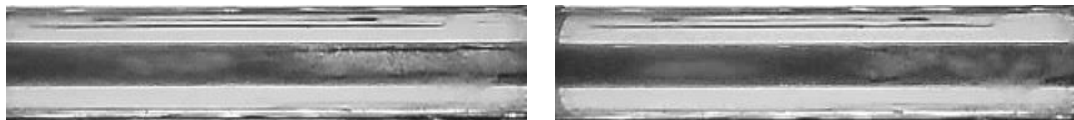


(a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$

(b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$

Gambar 4.36 Pola aliran *churn* yang terbentuk pada campuran 40% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.36 menunjukkan pola aliran *churn* pada konsentrasi 40 % dengan $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan variasi J_G .

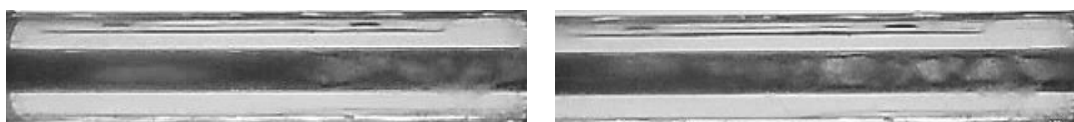


(a) $J_L = 2,297 \text{ m/s}$

(b) $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.37 Pola aliran *churn* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.37 menunjukkan pola aliran *churn* pada konsentrasi 50% gliserin dengan $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ dan variasi J_L .

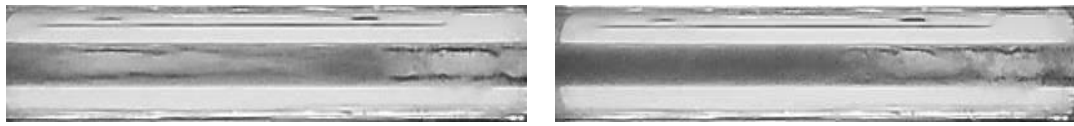


(a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$

(b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$

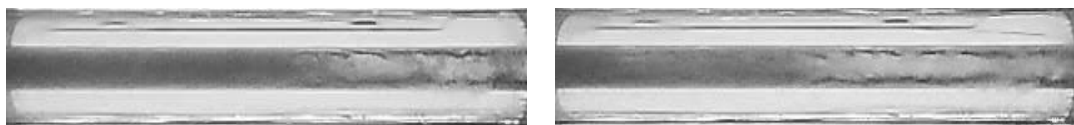
Gambar 4.38 Pola aliran *churn* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.38 menunjukkan pola aliran *churn* pada konsentrasi 50 % dengan $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan variasi J_G .

(a) $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ (b) $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

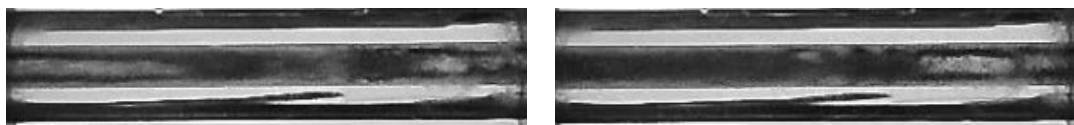
Gambar 4.39 Pola aliran *churn* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.39 menunjukkan pola aliran *churn* pada konsentrasi 60% gliserin dengan $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ dan variasi J_L .

(a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$

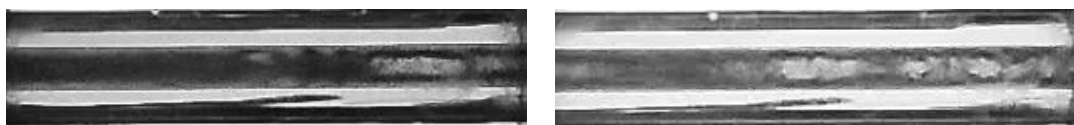
Gambar 4.40 Pola aliran *churn* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.40 menunjukkan pola aliran *churn* pada konsentrasi 60 % dengan $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan variasi J_G .

(a) $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ (b) $J_L = 4,935 \text{ m/s}$

Gambar 4.41 Pola aliran *churn* yang terbentuk pada campuran 60% gliserin dengan variasi J_L .

Gambar 4.41 menunjukkan pola aliran *churn* pada konsentrasi 70% gliserin dengan $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ dan variasi J_L .

(a) $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ (b) $J_G = 66,3 \text{ m/s}$

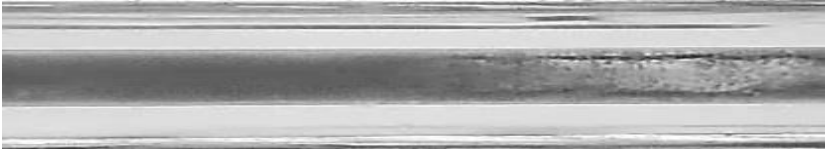
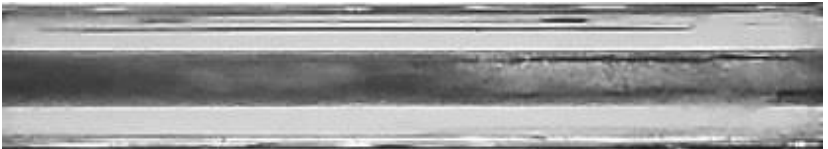

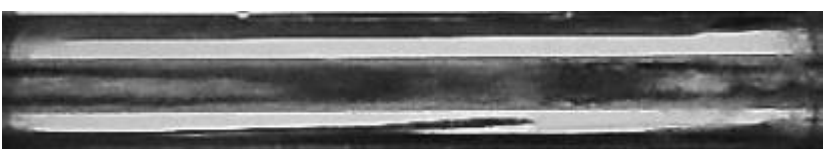
Gambar 4.42 Pola aliran *churn* yang terbentuk pada campuran 50% gliserin dengan variasi J_G .

Gambar 4.42 menunjukkan pola aliran *churn* pada konsentrasi 70 % dengan $J_L = 4,935 \text{ m/s}$ dan variasi J_G .

Table 4.5 menunjukkan perbedaan bentuk pola aliran *churn* dengan J_G dan J_L sama namun beda konsentrasi larutan. Dari hasil penelitian yang didapat terlihat

bahwa semakin meningkatnya konsentrasi larutan maka semakin berkurang bayangan hitam pada aliran. Hal ini disebabkan oleh rendahnya nilai tegangan permukaan pada campuran 70% gliserin.

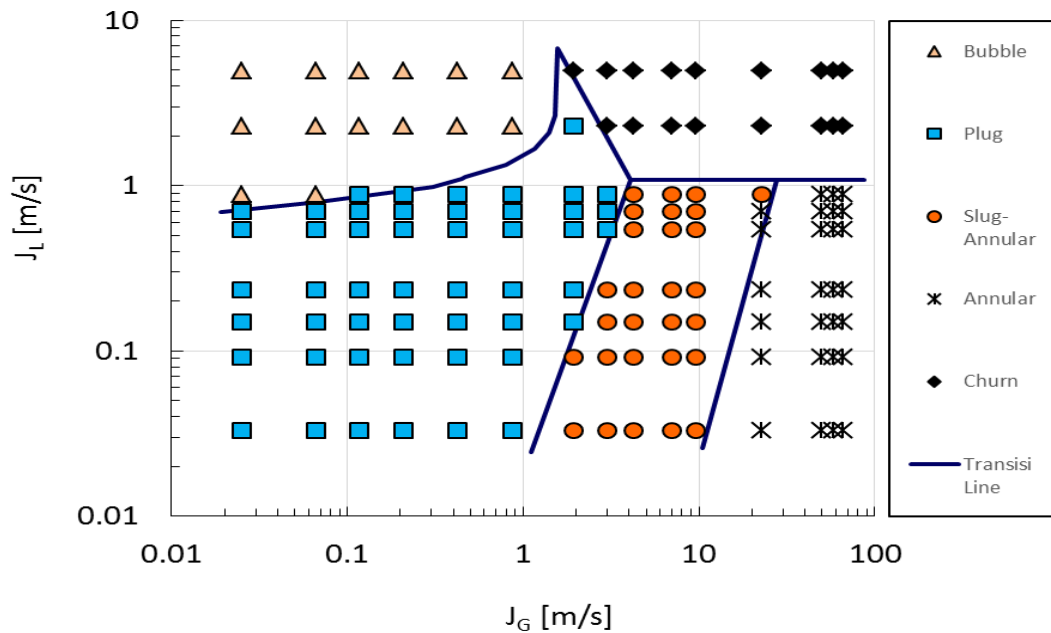
Tabel 4.5 Perbandingan pola aliran *churn* pada berbagai kondisi konsentrasi gliserin pada kondisi $J_G = 22,6$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s.

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

4.2 Peta pola Aliran

Berdasarkan pengamatan dan identifikasi yang telah dilakukan terhadap pola aliran selanjutnya dipetakan dalam peta pola aliran. Dalam penelitian ini didapatkan 144 data pola aliran dengan variasi J_G : 0 m/s hingga 66,3 m/s dan J_L : 0,033 m/s hingga 4,935 m/s yang akan diplot menggunakan koordinat J_G sebagai sumbu-x dan J_L sebagai sumbu-y. Nilai minimum untuk sumbu-x adalah 0,01 dan nilai

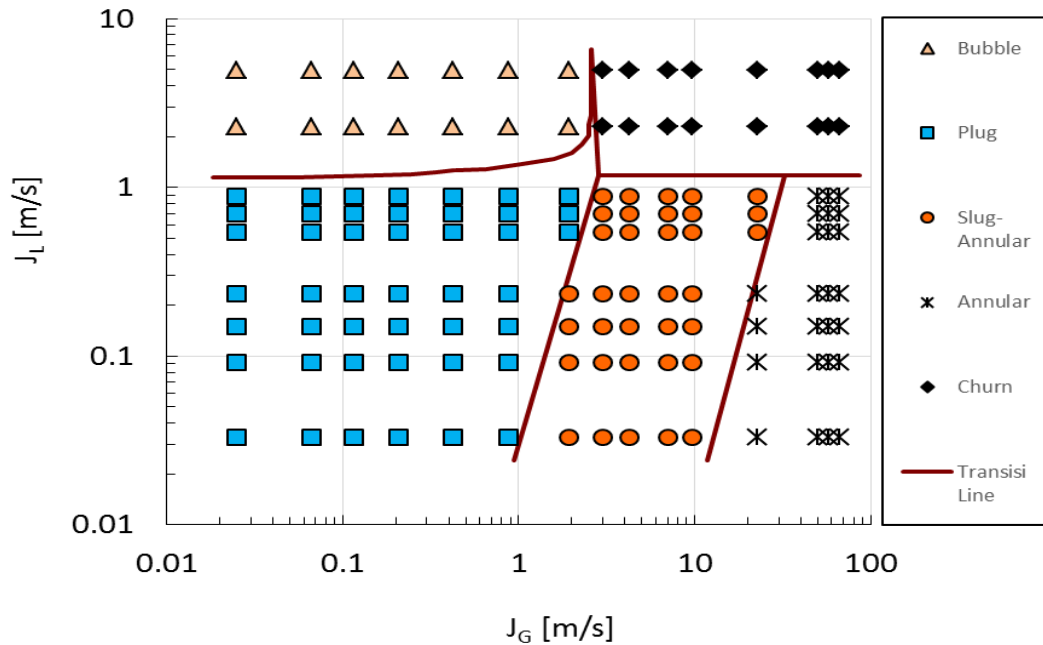
maksimumnya 100. Untuk nilai minimum sumbu-y adalah 0,01 dan nilai maksimumnya 10. Skala logaritmik digunakan dalam pembuatan peta pola aliran ini. Garis transisi digambarkan dalam peta pola aliran untuk menunjukkan pada kondisi manakah aliran berubah dari satu pola aliran tertentu menjadi pola aliran lainnya.



Gambar 4.43 Peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 40%

Pada gambar 4.43 menunjukkan peta pola aliran yang terbentuk pada campuran 40% gliserin. Dapat dilihat bahwa pola aliran *plug* mulai terbentuk pada J_G dan J_L rendah yang kemudian meluas seiring bertambahnya nilai kecepatan superfisial udara dan larutan hingga mencapai batas garis transisi, pada sisi atas pola aliran *plug* berbatasan dengan pola aliran *bubbly* yang terbentuk pada saat $J_G = 0,025$ m/s – 0,871 m/s dan $J_L = 0,879$ m/s – 4,935 m/s. Sedangkan pada sisi kanan pola aliran *plug* berbatasan dengan pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada saat $J_G = 1,941$ m/s – 22,6 m/s dan $J_L = 0,033$ m/s – 0,879 m/s. Seiring bertambahnya kecepatan superfisial udara dengan kecepatan superfisial larutan yang sama seperti pola aliran *slug-annular* maka terbentuklah pola aliran *annular* yang terdapat pada sisi kanan bawah dengan $J_G = 22,6$ m/s – 58,05 m/s dan $J_L = 0,033$ m/s – 0,879 m/s. Pola aliran *churn* terbentuk pada sisi kanan atas yang artinya, pola ini terbentuk pada

saat kecepatan superfisial udara dan larutan tinggi. Pola aliran *churn* yang teramati terjadi pada saat $J_G = 1,941 \text{ m/s} - 58,05 \text{ m/s}$ dan $J_L = 2,297 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$.

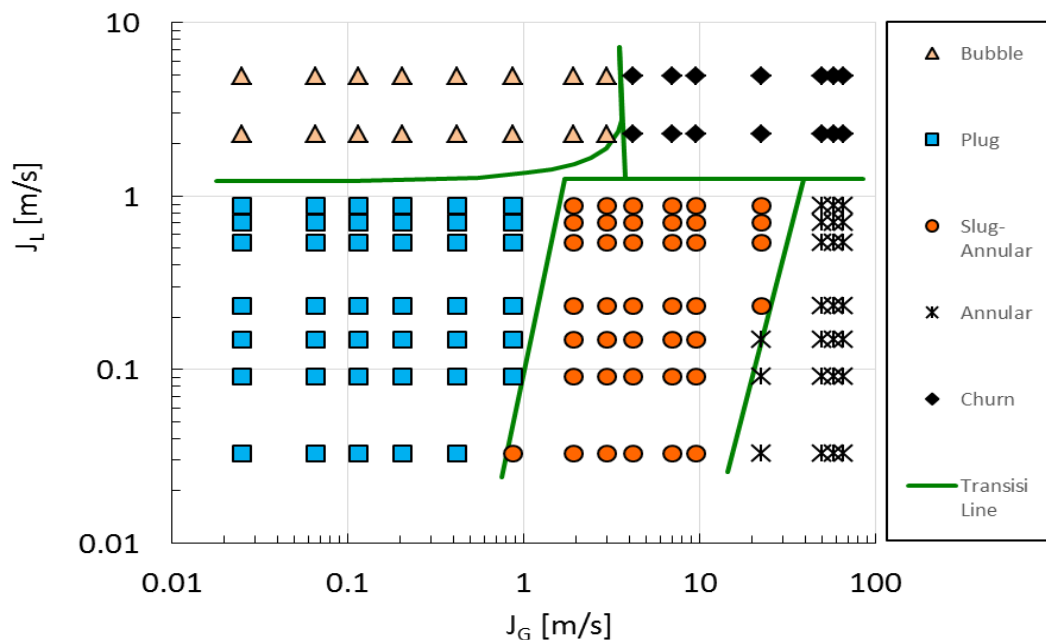


Gambar 4.44 Peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 50%

Gambar 4.44 menunjukkan peta pola aliran dengan konsentrasi larutan 50% gliserin. Dapat dilihat bahwa pola aliran *plug* masih mendominasi pada peta pola aliran, sedangkan pola aliran *bubbly* semakin berkurang akibat terdesak oleh naiknya garis transisi pola aliran *plug*. Pola aliran *plug* terbentuk pada saat $J_G = 0,025 \text{ m/s} - 1,941 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,033 \text{ m/s} - 0,879 \text{ m/s}$. Semakin meningkatnya kecepatan superfisial larutan maka terbentuklah pola aliran *bubbly*, yang terjadi pada saat $J_G = 0,025 \text{ m/s} - 1,941 \text{ m/s}$ dan $J_L = 2,297 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$. Pola aliran *churn* terbentuk pada saat kecepatan superfisial udara dan larutan tinggi dengan yaitu pada $J_G = 3 \text{ m/s} - 58,05 \text{ m/s}$ dan $J_L = 2,297 \text{ m/s} - 4,935 \text{ m/s}$. Pada sisi kanan bawah pola aliran *plug* berbatasan dengan pola aliran *slug-annular* yang terjadi pada saat $J_G = 1,941 \text{ m/s} - 22,6 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,033 \text{ m/s} - 0,879 \text{ m/s}$. Dengan meningkatnya kecepatan superfisial udara, maka terbentuklah pola aliran *annular* yang mulai terbentuk pada saat $J_G = 22,6 \text{ m/s} - 58,05 \text{ m/s}$.

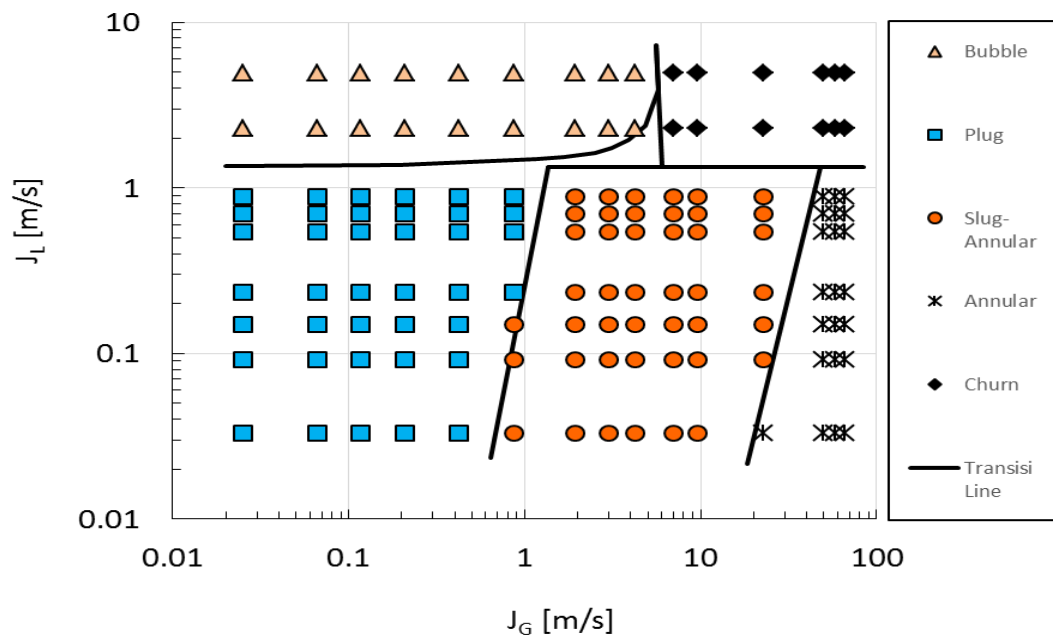
Pada gambar 4.45 terlihat bahwa dengan kenaikan konsentrasi gliserin menjadi 60%, pola aliran *plug* semakin mengecil sehingga membuat pola aliran *slug-*

annular semakin meluas. Hal ini dapat terlihat dari bergesernya garis transisi pola aliran *slug-annular* ke arah kiri. Pola aliran *slug-annular* mulai terbentuk pada saat $J_G = 0,871 \text{ m/s}$ - $22,6 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ - $0,879 \text{ m/s}$. Sedangkan garis transisi antara pola aliran *plug* dan *bubbly* tidak mengalami pergeseran yang signifikan yaitu pada $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ - $4,935 \text{ m/s}$. Pola aliran *churn* terbentuk pada $J_G = 4,238 \text{ m/s}$ - $66,3 \text{ m/s}$ dan $J_L = 2,297 \text{ m/s}$ - $4,935 \text{ m/s}$. Sedangkan garis transisi antara pola aliran *slug-annular* dengan pola aliran *annular* mengalami pergeseran ke arah kanan yang artinya membuat daerah pola aliran *annular* semakin mengecil. Pola aliran *annular* mulai terbentuk pada saat $J_G = 22,6 \text{ m/s}$ - $66,3 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ - $0,879 \text{ m/s}$.



Gambar 4.45 Peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 60%

Gambar 4.46 menunjukkan peta pola aliran dengan konsentrasi 70% gliserin. Dapat dilihat pada garis transisi peta pola aliran tidak mengalami pergeseran yang signifikan. Jika di perhatikan pola aliran *slug-annular* terjadi lebih cepat, yaitu pada $J_G = 0,871 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,879 \text{ m/s}$. Pada daerah transisi sebelah kanan meluas sehingga pola aliran *plug* semakin menyempit. Dalam campuran ini memiliki nilai tegangan permukaan paling rendah dan nilai *kinematic viscosity* tinggi yang mengakibatkan ikatan antar molekul larutan bertambah dan larutan meningkat kestabilannya dalam mempertahankan bentuk pola aliran.

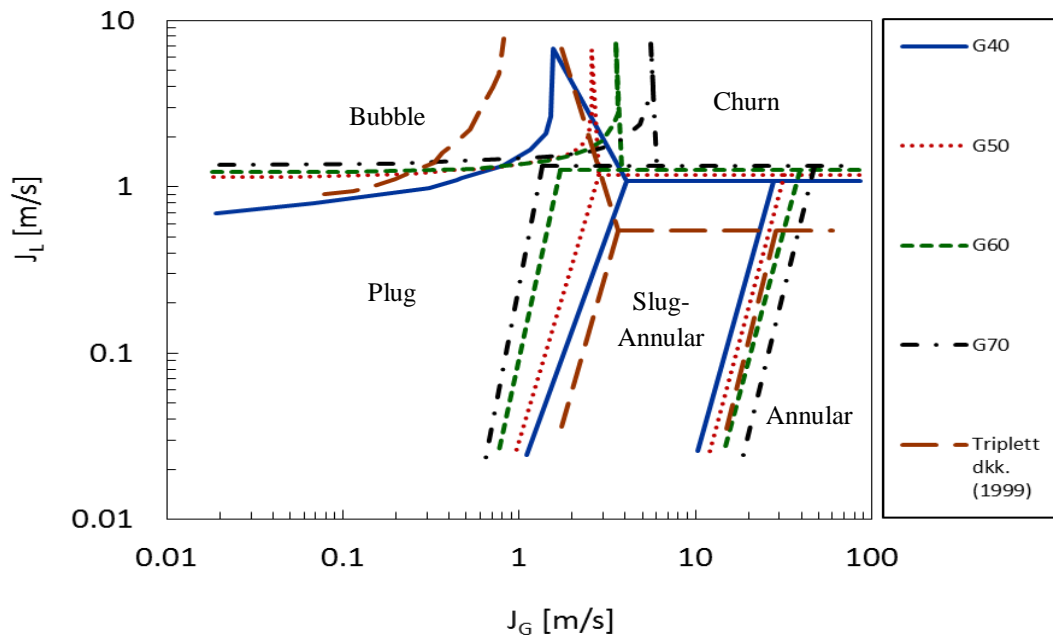


Gambar 4.46 Peta pola aliran pada konsentrasi gliserin 70%

4.3 Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu

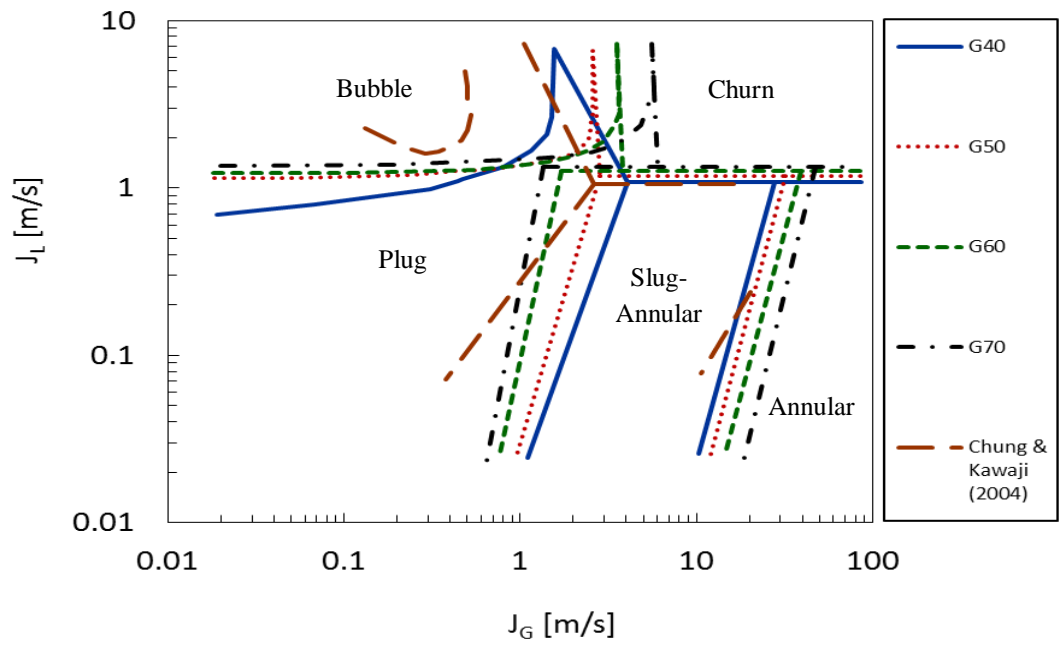
Perbandingan hasil penelitian terhadap penelitian terdahulu perlu dilakukan untuk mengetahui konsistensi hasil penelitian yang didapat dan perubahan garis transisi yang disebabkan oleh perubahan parameter tertentu yang diujikan. Perbandingan peta pola aliran yang digunakan adalah peta aliran milik Triplett dkk. (1999) dan Chung dan Kawaji (2004).

Perbandingan peta pola aliran untuk perubahan viskositas dan kemiringan sudut dibandingkan dengan hasil penelitian Triplett dkk. (1999). Gambar 4.47 menunjukkan beberapa perbedaan garis transisi. Garis transisi antara pola aliran *churn* dengan pola aliran *slug-annular* dan *annular* mengalami pergeseran hal ini disebabkan oleh perbedaan viskositas fluida cair dan diameter pipa yang digunakan. Fluida cair pada penelitian ini menggunakan campuran akuades dan gliserin dengan konsentrasi (40%, 50%, 60%, dan 70%), sedangkan pada penelitian Triplett dkk., (1999) menggunakan fluida cair berupa air. Diameter pipa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1,66 mm, sedangkan Triplett dkk., (1999) menggunakan diameter pipa sirkular 1,097 mm.



Gambar 4.47 Perbandingan garis transisi peta pola aliran dengan hasil penelitian Triplet dkk. (1999)

Dalam penelitiannya Chung dan Kawaji (2004) menggunakan fluida berupa gas nitrogen dan air pada saluran dengan diameter 530, 250, 100, dan 50 μm . Kecepatan superficial fluida cair yang digunakan berkisar 0,01 m/s – 5,77 m/s, sedangkan kecepatan superficial gas berkisar 0,02 m/s – 72,98 m/s. Hasil dari visualisasi menunjukkan perbedaan pola aliran pada pipa diameter 530 dan 250 μm dengan pipa berdiameter 100 dan 50 μm . Pola aliran yang teramati dalam penelitian ini dengan diameter 530 dan 250 μm , yaitu: *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular* dan *annular*. Sedangkan pada pipa berukuran 100 dan 50 μm pola yang teramati hanya pola aliran *slug*. Gambar 4.48 menunjukkan perbandingan peta pola aliran penelitian ini dengan peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004) dengan diameter 530 μm . Terdapat pergeseran yang signifikan pada garis transisi pola aliran *bubbly*, *plug*, *slug-annular*, dan *annular*. Sedangkan pada garis transisi pola aliran *churn* tidak mengalami pergeseran yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan diameter pipa dan fluida cair yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 4.48 Perbandingan garis transisi peta pola aliran dengan hasil penelitian Chung dan Kawaji (2004)