

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil dari penelitian aliran dua fase pada pipa kaca dengan ukuran diameter 1,6 mm yang terpasang pada sudut  $15^\circ$  dengan campuran gliserin 40%, 50%, 60%, dan 70% meliputi : pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran dari masing-masing campuran serta perbandingan peta pola aliran dengan penelitian terdahulu.

#### **4.1. Pola Aliran**

Dari hasil pengamatan aliran dua fase saluran mini dengan kemiringan  $15^\circ$  dan ukuran diameter dalam pipa 1,6 mm pada penelitian ini didapatkan lima jenis pola aliran yaitu : *plug*, *bubbly*, *slug annular*, *annular*, dan *churn*. Pengaturan debit fluida udara dan fluida cair dilakukan untuk mendapatkan data penelitian yang berupa video dan kemudian diamati untuk mengetahui pola aliran yang terbentuk. Untuk pemetaan pola aliran yang telah diamati, digunakan koordinat berdasarkan kecepatan superfisial yang kemudian di plot sesuai koordinat kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) secara horizontal dan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) secara vertikal. Ditambahkannya variasi campuran dari fluida cair yang digunakan dengan variasi pada gliserin 40%, 50%, 60% dan 70% adalah untuk mengetahui perubahan pola yang terbentuk karena pengaruh viskositas.

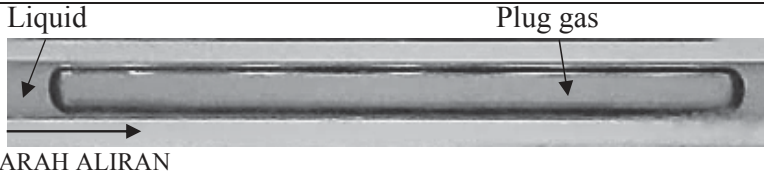
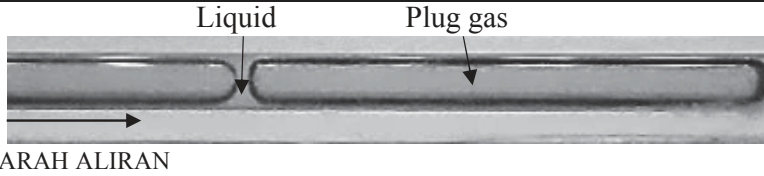
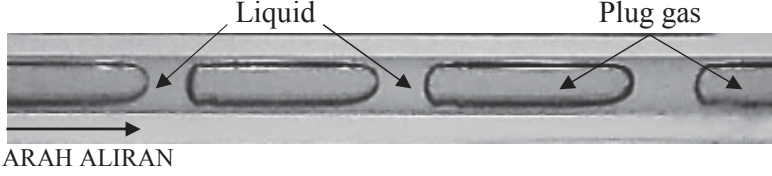
##### **4.1.1. Pola Aliran *Plug***

Pola aliran *plug* memiliki bentuk gelembung yang memanjang seperti kapsul ataupun menyerupai peluru dengan ciri-ciri panjang aliran yang melebihi diameter saluran pipa. Aliran *plug* terbentuk dikarenakan kecepatan superfisial udara yang tinggi berusaha menembus aliran pada fase cair tetapi tidak dapat menghancurkan aliran fase cair, sehingga menyebabkan adanya celah di antara aliran. 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*.

Pola aliran *plug* konsisten muncul ketika nilai kecepatan superfisial yang relatif rendah, yaitu kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) mulai dinaikkan lebih dari nol, akan tetapi lebih rendah dari nilai kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ). Sedangkan untuk nilai  $J_L$  dari kemunculan aliran *plug* selalu lebih rendah dari nilai  $J_L$  kemunculan aliran *bubbly*. Untuk tiap variasi konsentrasi gliserin aliran *plug* yang terbentuk relatif sama, namun hal ini berbanding lurus dengan kenaikan nilai viskositas kinematik yang mempengaruhi panjang dan bentuk aliran *plug*.

Pola aliran *plug* mulai terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial udara pada  $J_G = 0,025$  m/s dan untuk nilai kecepatan superfisial cairan pada  $J_L = 0,033$  m/s. Pada setiap konsentrasi gliserin 50%, 60%, dan 70% kemunculan pola aliran *plug* muncul pada nilai  $J_G$  yang sama, sedangkan untuk konsentrasi gliserin 40% terdapat sedikit tambahan pada nilai  $J_G = 4,238$  m/s dalam kemunculan aliran *plug*.

**Tabel 4.1** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 40%, nilai  $J_G$  tetap yaitu  $J_G = 0,207$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,149	
2	0,539	
3	0,7	

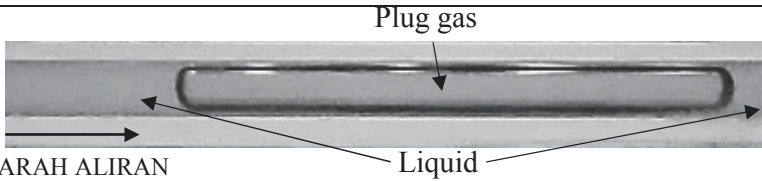
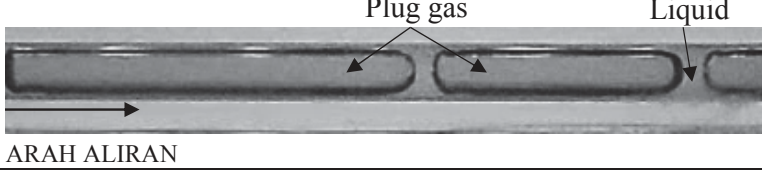
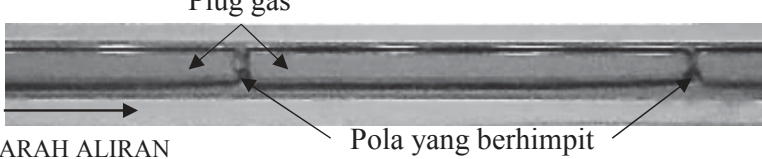
Ketika nilai kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) dinaikkan dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,207 m/s dan konsentrasi gliserin 40%, pola aliran *plug* yang dihasilkan semakin pendek dan celah pemisah antar aliran *plug* semakin merenggang dan menyebabkan intensitas kemunculan *plug* menjadi semakin tinggi seperti terlihat

pada Tabel 4.1. Hal ini disebabkan laju udara yang tertekan oleh laju cairan yang mengalami peningkatan, sehingga aliran *plug* yang terbentuk menjadi semakin pendek.

Ketika nilai kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) di naikkan mendekati kemunculan aliran *bubbly*, pola aliran *plug* semakin pendek dan mengalami gangguan berupa gelombang pada bagian ekor. Gelembung-gelembung kecil juga mulai terlihat di antara celah pemisah ataupun menempel di ekor aliran *plug*. Hal ini disebabkan oleh nilai *kinematic viscosity* yang kecil, sehingga pola aliran tidak mampu mempertahankan bentuknya.

Pola aliran *plug* yang berhasil di amati pada nilai  $J_G$  tetap dengan menggunakan variasi nilai  $J_L$  seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Tabel 4.1 dengan variasi gliserin 40%, Tabel 4.3 dengan variasi gliserin 50%, Tabel 4.5 dengan variasi gliserin 50%, dan Tabel 4.7 dengan variasi gliserin 70%.

**Tabel 4.2** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 40%, nilai  $J_L$  tetap yaitu  $J_L = 0,232$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

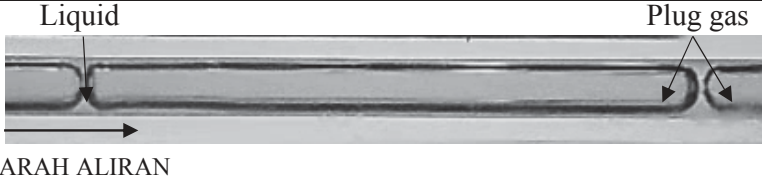
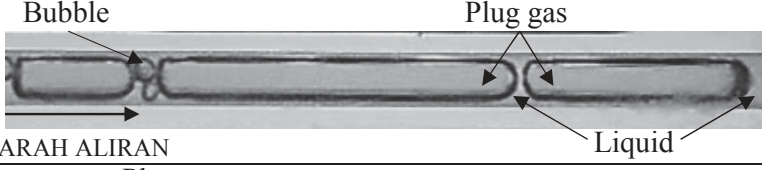
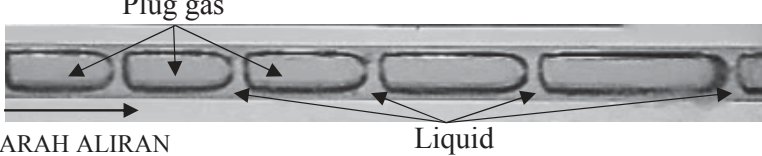
No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,025	
2	0,423	
3	0,871	

Pada Tabel 4.2 dengan konsentrasi gliserin 40% dan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,232 m/s, menunjukkan kenaikan nilai  $J_G$  membuat ukuran aliran *plug* memanjang dan celah antar aliran *plug* semakin rapat. Terlihat gangguan berupa gelombang pada bagian ekor aliran *plug*. Hal ini disebabkan fase cair yang mulai tertekan oleh intensitas laju aliran udara yang meningkat.

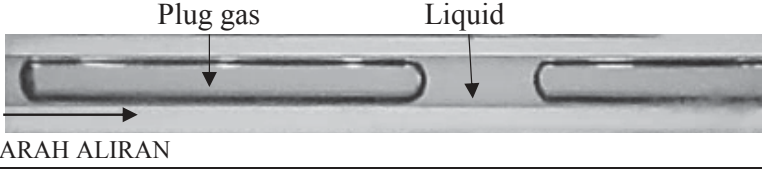
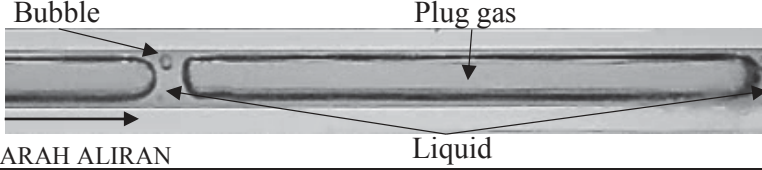
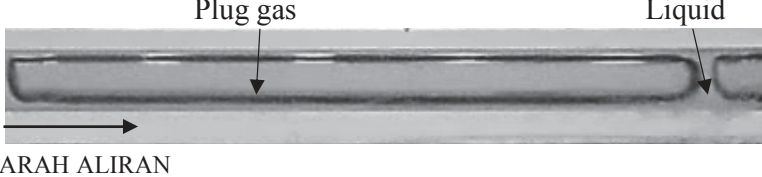
Ketika kecepatan superficial udara dinaikkan mendekati nilai  $J_G = 1,941$  m/s, maka aliran yang terbentuk hampir menyerupai aliran *plug* yang akan menyatu dengan aliran *plug* lainnya tanpa ada celah pemisah seperti sumbatan. Dikarenakan laju aliran udara yang lebih dominan terhadap laju aliran air, sehingga laju aliran udara tetap menyatu yang tidak terpecah oleh laju aliran air.

Pola aliran *plug* yang berhasil di amati pada nilai  $J_L$  tetap dengan menggunakan variasi nilai  $J_G$  seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Tabel 4.2 dengan variasi gliserin 40%, Tabel 4.4 dengan variasi gliserin 50%, Tabel 4.6 dengan variasi gliserin 60%, dan Tabel 4.8 dengan variasi gliserin 70%.


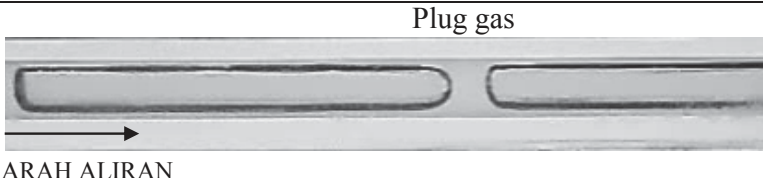
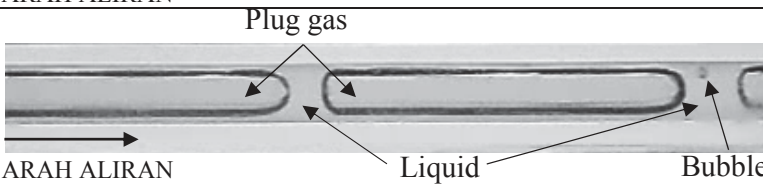
**Tabel 4.3** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai  $J_G$  tetap yaitu  $J_G = 0,207$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,149	
2	0,539	
3	0,89	

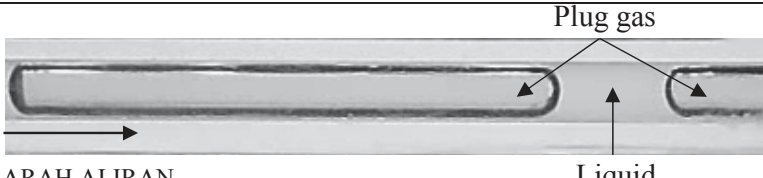
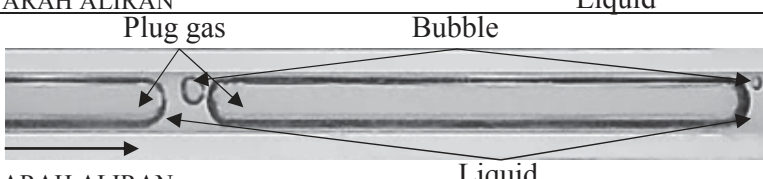
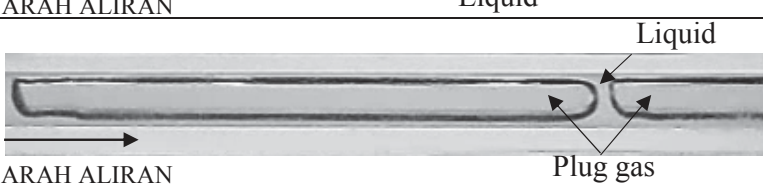
**Tabel 4.4** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai  $J_L$  tetap yaitu  $J_L = 0,232$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,116	
2	0,207	
3	0,871	

**Tabel 4.5** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 60%, nilai  $J_G$  tetap yaitu  $J_G = 0,207$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,232	
2	0,7	
3	0,89	

**Tabel 4.6** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 60%, nilai  $J_L$  tetap yaitu  $J_L = 0,232$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,116	
2	0,423	
3	0,871	

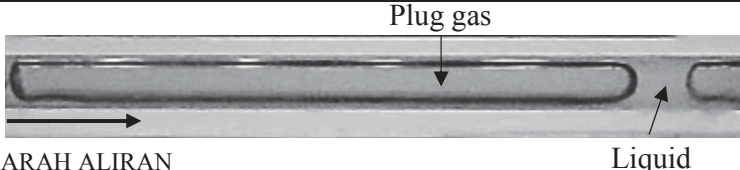
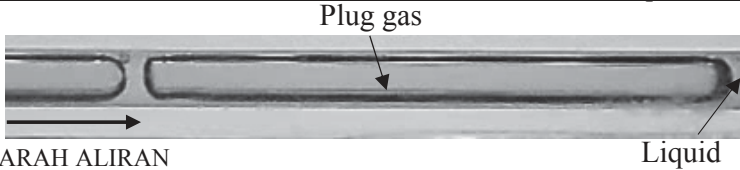
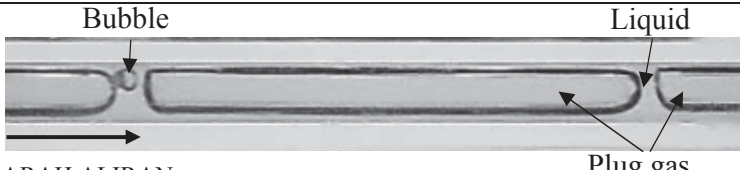
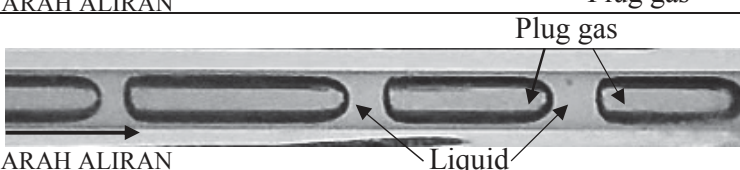
**Tabel 4.7** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_G$  tetap yaitu  $J_G = 0,207$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,149	
2	0,539	
3	0,7	

**Tabel 4.8** Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_L$  tetap yaitu  $J_L = 0,539$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,207	
2	0,423	
3	0,871	

**Tabel 4.9** Perbandingan pola aliran *plug* untuk tiap konsentrasi campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G = 0,423$  m/s dan nilai  $J_L = 0,149$  m/s

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

Bentuk pola aliran *plug* yang terjadi relatif sama untuk tiap variasi konsentrasi, dengan nilai  $J_G$  dan  $J_L$  tertentu. Kenaikan konsentrasi gliserin terhadap nilai  $J_G$  dan  $J_L$  yang sama, mengakibatkan pola aliran *plug* yang terbentuk semakin pendek dengan intensitas kemunculan tinggi. Seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi gliserin, semakin besar pula nilai viskositas kinematik dari cairan yang di uji. Hal ini menyebabkan laju aliran udara yang melaju tidak mampu mendorong laju aliran cair yang kental dan terlihat aliran *plug* menjadi terpotong-potong. Dapat dilihat pada Tabel 4.9 yang merupakan perbandingan bentuk pola aliran *plug* variasi konsentrasi gliserin 40%, 50%, 60, dan 70% dengan nilai  $J_G$  dan  $J_L$  yang sama, yaitu  $J_G = 0,423$  m/s dan  $J_L = 0,539$  m/s.



#### 4.1.2. Pola Aliran *Bubbly*

Pola aliran *bubbly* memiliki bentuk cairan berupa gelembung kecil yang terpotong-potong. Hal ini terjadi karena penumpukan cairan di area *mixer* yang disebabkan oleh laju aliran udara yang lebih rendah dari laju aliran cairan. Seiring bertambahnya nilai laju aliran, dan mengecilnya luas permukaan *mixing chamber* menuju seksi uji ini akan menimbulkan aliran dua fase. Dimana cairan yang tertahan di area *mixer* terdorong oleh fase udara yang mengalami peningkatan nilai  $J_G$  mengakibatkan aliran yang muncul berbentuk gelembung kecil yang terpotong-potong.

Pola aliran *bubbly* konstan terbentuk pada nilai  $J_G$  lebih dari nol, sedangkan nilai  $J_L$  berada jauh lebih tinggi setelah kemunculan aliran *plug*. Sehingga pola *bubbly* yang terbentuk terkadang masih bercampur dengan aliran *plug*. Aliran *bubbly* yang utuh tanpa aliran *plug*, terjadi ketika  $J_L$  berada pada nilai yang lebih tinggi, akan tetapi alirannya menjadi acak dan berkecepatan tinggi. Untuk tiap variasi konsentrasi gliserin aliran *bubbly* yang teramati memiliki beberapa perbedaan, hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya viskositas pada fluida cair yang digunakan menjadi lebih dominan untuk mengatasi gaya inersia.

Aliran *bubbly* yang berhasil diamati dalam penelitian ini bermula pada nilai  $J_G = 0,025$  m/s dan nilai  $J_L = 2,297$  m/s dengan konsentrasi gliserin 70%. Sedangkan pada konsentrasi gliserin 40%, 50%, dan 60% aliran *bubbly* tidak teramati, dikarenakan intensitas laju cairan lebih dominan dibandingkan laju udara dengan bentuk gelembung yang terpotong-potong sangat kecil dengan acak.

Perbandingan aliran *bubbly* terhadap variasi nilai  $J_L$  pada konsentrasi gliserin 70% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 0,207 m/s dapat dilihat pada Tabel 4.10. Kenaikan nilai  $J_L$  menyebabkan pola aliran *bubbly* yang semula memiliki bentuk bulat dengan ukuran yang bervariasi, akan melaju lebih cepat dengan *bubbly* yang semakin bulat dengan jarak yang teratur dan ukuran yang seragam.

**Tabel 4.10** Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 0,207$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	2,297	
2	4,935	

Pola aliran *bubbly* yang berhasil di amati pada konsentrasi gliserin 70% dengan nilai  $J_L$  yang tetap, yaitu 2,297 m/s terhadap variasi nilai  $J_G$  seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.11. Kenaikan nilai  $J_G$  mengakibatkan intensitas kemunculan *bubble* semakin banyak dengan jarak antar aliran yang semakin rapat. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya nilai *specific gravity* dan *kinematic viscosity* sedangkan nilai tegangan permukaan menurun.

**Tabel 4.11** Perbandingan pola aliran *bubbly* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 2,297$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

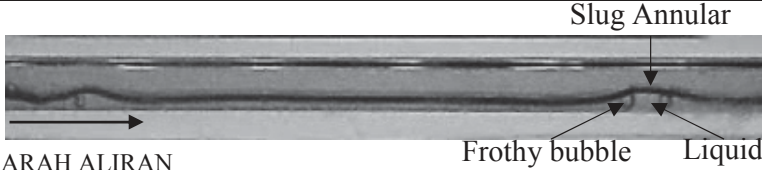
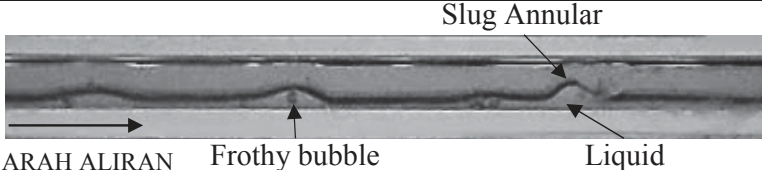
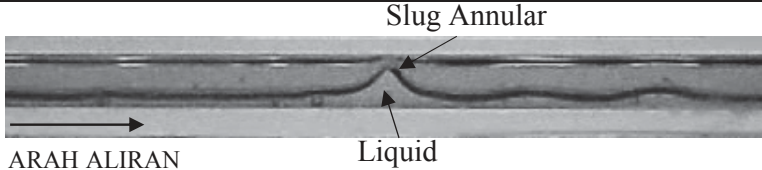
No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,066	
2	0,116	
3	0,423	

#### 4.1.3. Pola Aliran *Slug-annular*

Pola aliran *slug-annular* memiliki bentuk seperti aliran *plug* yang mulanya terpisah oleh air menjadi dapat diterobos oleh udara dengan kecepatan superficial yang lebih tinggi, sehingga seperti aliran *plug* yang melaju secara berkelanjutan. Di sisi lain aliran fluida mencoba untuk memutus aliran udara tersebut dengan lapisan air yang berada sekeliling lapisan udara yang sedang melaju. Pada kondisi tertentu lapisan air bagian bawah menjadi lebih tebal dibandingkan lapisan air yang berada bagian atas aliran yang selanjutnya mengakibatkan terjadi gelombang pada bagian bawah aliran udara yang sedang melaju. Seiring dengan kenaikan laju aliran air, pola aliran *slug annular* dapat akan menimbulkan aliran yang berbuih di dalam aliran ataupun di sekeliling aliran udara yang sedang melaju atau biasa disebut *frothy bubble*.

Pola aliran *slug annular* muncul pertama kali ketika nilai  $J_G$  berada setelah garis koordinat kemunculan aliran *plug* dan sebelum koordinat munculnya aliran *annular* pada nilai  $J_L$  yang sama, dan juga untuk nilai  $J_L$  nya berbatasan dengan aliran *plug* dan *churn*. Untuk tiap variasi konsentrasi gliserin dan kecepatan superficial, aliran *slug annular* yang terbentuk relatif sama. Perbedaan kecil yang terlihat pada aliran ini adalah jumlah gelombang lapisan air yang menyelimuti aliran udara dan kecepatan aliran yang sedang melaju.


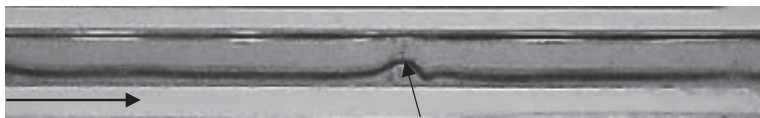
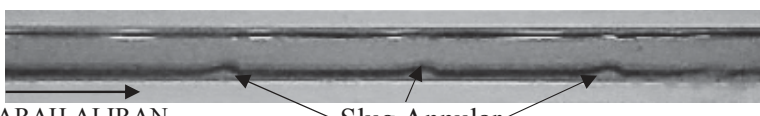
**Tabel 4.12** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 40%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 3$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,232	
2	0,539	
3	0,7	

Pada Tabel 4.12 dapat dilihat perbandingan pola aliran pada konsentrasi gliserin 40% dengan  $J_G$  tetap, yaitu 3 m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi. Perbedaan bentuk pada pola aliran *slug annular* tidak begitu terlihat jelas, akan tetapi kenaikan nilai  $J_L$  berbanding lurus dengan upaya gelombang air yang semakin kuat mendorong aliran udara yang terlihat hampir terputus.

Pola aliran *slug annular* yang berhasil di amati pada nilai  $J_G$  tetap dengan menggunakan variasi nilai  $J_L$  seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Tabel 4.12 dengan variasi gliserin 40%, Tabel 4.14 dengan variasi gliserin 50%, Tabel 4.16 dengan variasi gliserin 50%, dan Tabel 4.18 dengan variasi gliserin 70%.

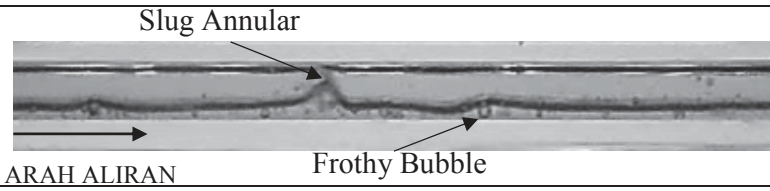
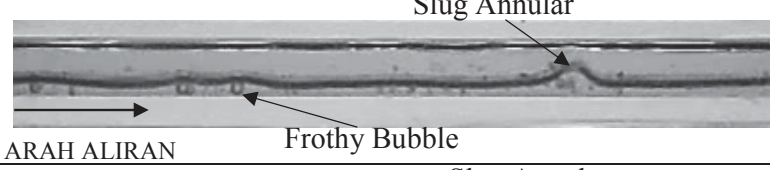
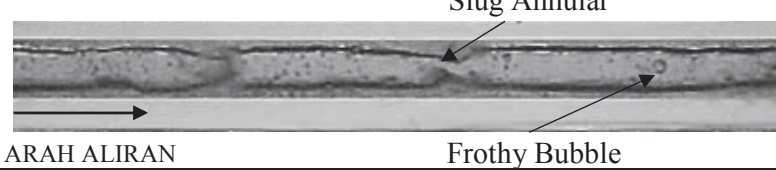
**Tabel 4.13** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 40%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,091$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	3	
2	7	
3	22,6	

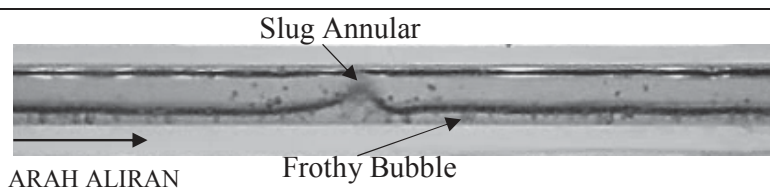
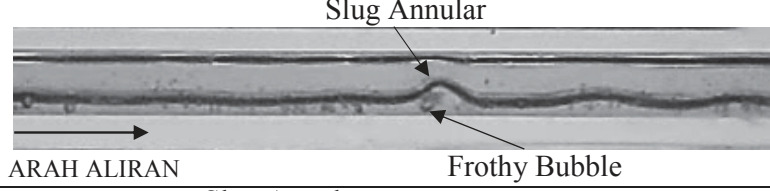
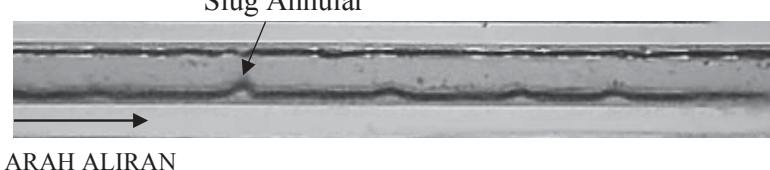
Perbandingan kecepatan superficial udara terlihat pada Tabel 4.13 pada konsentrasi gliserin 40% dengan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,091 m/s. Sama halnya seperti pengaruh variasi nilai  $J_L$ , perbedaan pola aliran yang ditemukan menggunakan variasi nilai  $J_L$  juga tidak ditemukan perbedaan yang spesifik. Akan tetapi terlihat sedikit perbedaan pada jumlah gelombang lapisan air yang lebih banyak, tetapi dengan ukuran yang lebih kecil. Aliran udara yang melaju sangat jauh lebih tinggi daripada laju aliran air akan membentuk aliran yang muncul pada rezim selanjutnya, sehingga terlihat seperti aliran udara yang melaju tanpa gangguan dari gelombang air yang mencoba untuk memutus aliran.

Pola aliran *slug annular* yang berhasil di amati pada nilai  $J_L$  tetap dengan menggunakan variasi nilai  $J_G$  seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Tabel 4.13 dengan variasi gliserin 40%, Tabel 4.15 dengan variasi gliserin 50%, Tabel 4.17 dengan variasi gliserin 50%, dan Tabel 4.19 dengan variasi gliserin 70%.

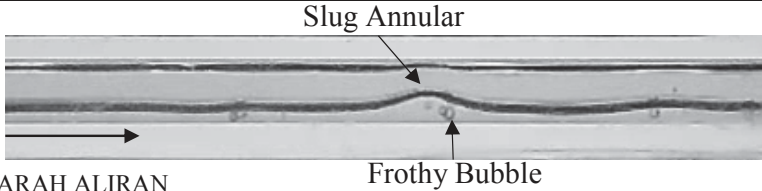
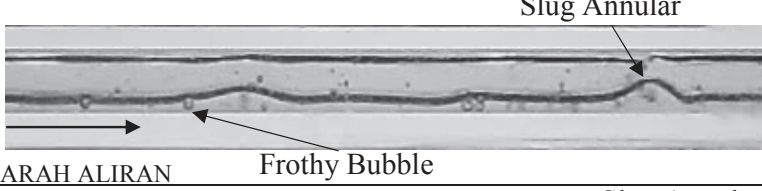
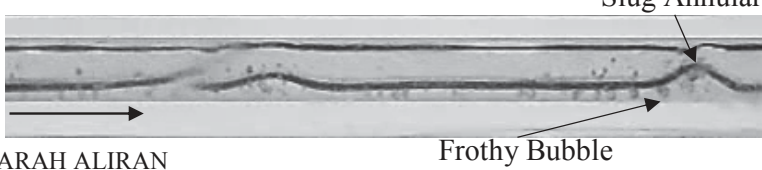
**Tabel 4.14** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 7$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,149	
2	0,232	
3	0,89	

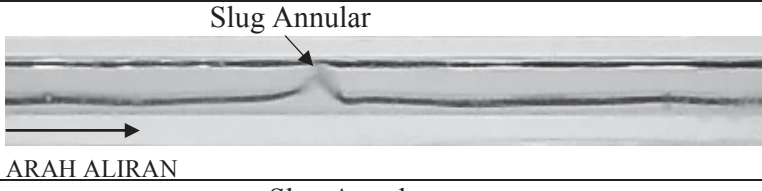
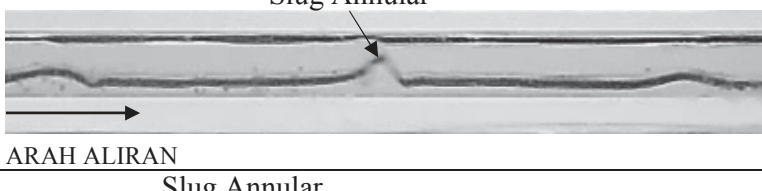
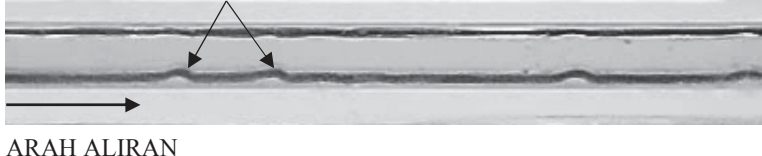
**Tabel 4.15** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,232$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	4,238	
2	9,62	
3	22,6	


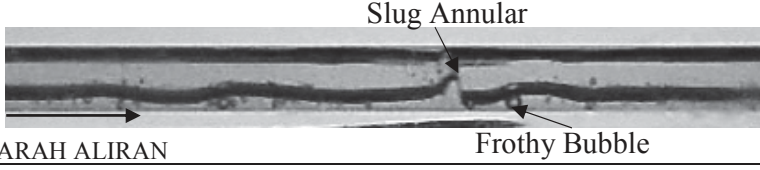
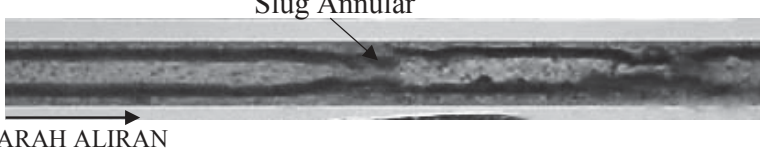
**Tabel 4.16** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 60%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 4,238$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,091	
2	0,539	
3	0,7	

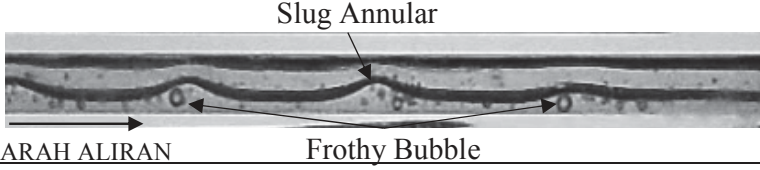
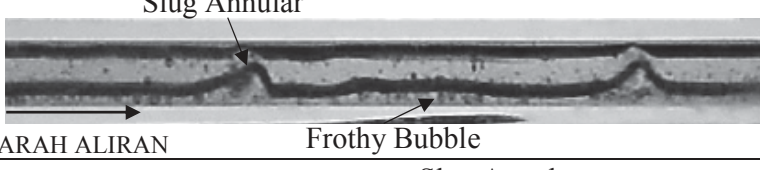
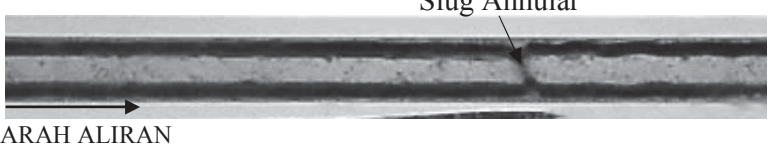
**Tabel 4.17** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 60%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,149$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	3	
2	9,62	
3	22,6	

**Tabel 4.18** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 9,62$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

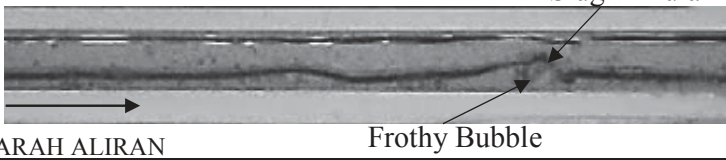
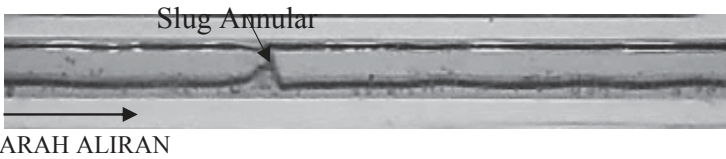
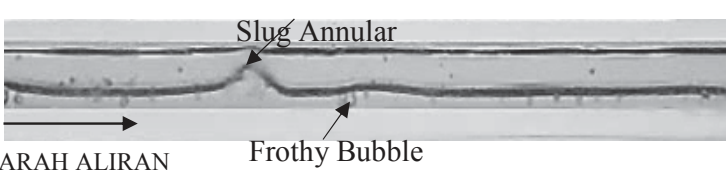
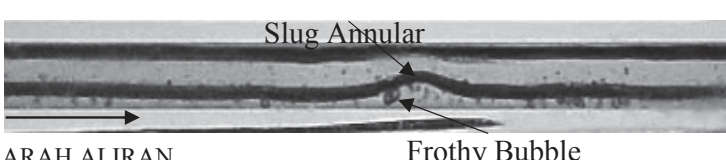
No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,033	
2	0,149	
3	0,89	

**Tabel 4.19** Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,539$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	4,238	
2	7	
3	22,6	



**Tabel 4.20** Perbandingan pola aliran *slug annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G = 7 \text{ m/s}$  dan  $J_L = 0,232 \text{ m/s}$

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

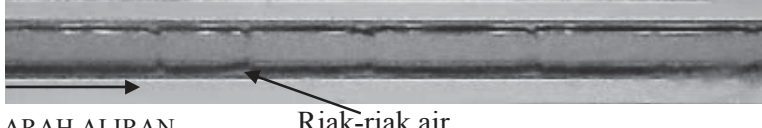
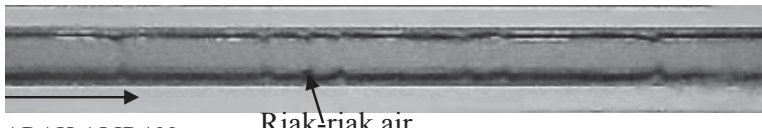
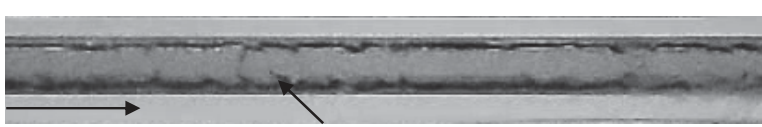
Terbentuknya pola aliran *slug annular* bermula ketika nilai  $J_G$  lebih tinggi daripada nilai  $J_L$ , yaitu  $J_G = 3 \text{ m/s}$  dan  $J_L = 0,033 \text{ m/s}$ . Pengamatan yang dilakukan mengenai perbandingan nilai konsentrasi gliserin menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Namun ada sedikit perbedaan dalam aliran *slug annular*, yaitu lapisan film pada sekeliling aliran udara yang melaju semakin menebal berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi gliserin. Intensitas lapisan film yang mengikuti bentuk gelombang laju aliran air yang mencoba untuk memutus laju aliran udara semakin berkurang. Perbandingan pola aliran *slug-annular* dengan nilai  $J_G$  dan  $J_L$  yang sama dengan konsentrasi gliserin yang bervariasi dapat dilihat pada Tabel 4.20.

#### 4.1.4. Pola Aliran *Annular*

Pola aliran *annular* memiliki bentuk seperti pola aliran *slug annular*, namun gelombang air yang awalnya berusaha memutus aliran udara perlahan mulai berkurang dan menjadi gelombang air tipis ataupun riak-riak yang banyak berada di sekeliling saluran udara. Hal ini disebabkan oleh laju aliran udara yang jauh lebih besar dibandingkan laju aliran air. Aliran ini nampak terlihat dari depan, jika larutan yang melaju seakan-akan melingkari inti udara yang melaju secara kontinu seperti membentuk cincin. Maka dari itu pola aliran *annular* sering disebut juga pola aliran ‘cincin’.

Pola aliran *annular* muncul pertama kali ketika nilai kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) konstan pada nilai yang sama untuk tiap variasi konsentrasi gliserin, yaitu  $J_G = 50$  m/s, berbanding terbalik dengan nilai kecepatan superfisial air yang rendah ( $J_L$ ) konstan pada nilai yang sama dengan aliran *slug annular*. Aliran *annular* yang terbentuk untuk tiap variasi konsentrasi gliserin relatif sama, akan tetapi kombinasi variasi kecepatan superfisial menyebabkan aliran yang melaju terkadang masih bercampur dengan pola aliran *slug annular*.

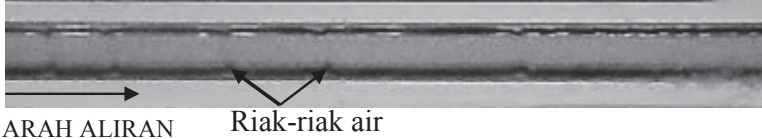
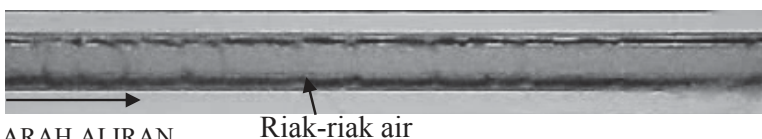

**Tabel 4.21** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 40%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 50$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,149	 ARAH ALIRAN      Riak-riak air
2	0,232	 ARAH ALIRAN      Riak-riak air
3	0,539	 ARAH ALIRAN      Riak-riak air

Dengan nilai kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) = 50 m/s dan nilai kecepatan superfisial air ( $J_L$ ) = 0,033 m/s adalah awal mula kemunculan pola aliran *annular*. Pengaruh kenaikan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ) pada konsentrasi gliserin 40% dengan nilai  $J_G$  tetap yaitu 50 m/s terhadap pola aliran yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 4.21. Terlihat ketebalan aliran yang semakin bertambah, serta riak-riak air akan semakin terlihat lebih banyak pada kedua sisi aliran baik yang di atas maupun yang di bawah laju aliran. Dengan meningkatnya nilai  $J_L$  juga mengakibatkan riak air yang mengalir di sekeliling aliran udara akan melaju lebih cepat.

Pola aliran *annular* yang berhasil di amati pada nilai  $J_G$  tetap dengan menggunakan variasi nilai  $J_L$  seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Tabel 4.21 dengan variasi gliserin 40%, Tabel 4.23 dengan variasi gliserin 50%, Tabel 4.25 dengan variasi gliserin 50%, dan Tabel 4.27 dengan variasi gliserin 70%.

**Tabel 4.22** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 40%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,091$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

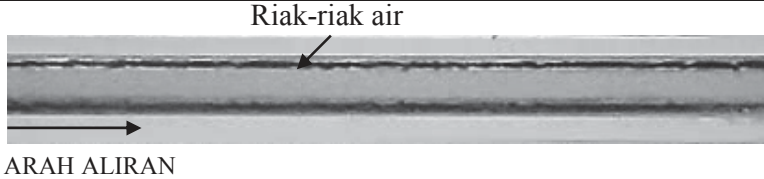
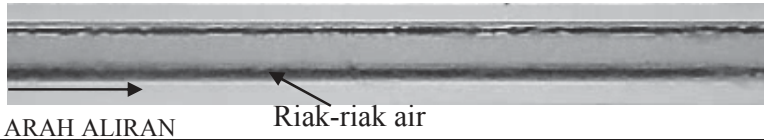
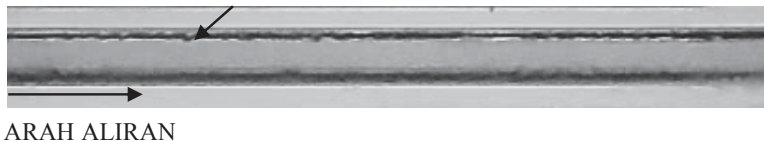
No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

Pada kondisi lain, jika kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) yang dinaikan dengan konsentrasi gliserin 40% dan nilai  $J_L$  tetap yaitu 0,091 m/s terlihat riak-riak air pada permukaan aliran akan semakin berkurang dikarenakan aliran air semakin terdorong oleh laju aliran udara yang semakin besar. Hal ini berbanding lurus dengan kenaikan nilai  $J_G$  seperti dapat dilihat pada Tabel 4.22.

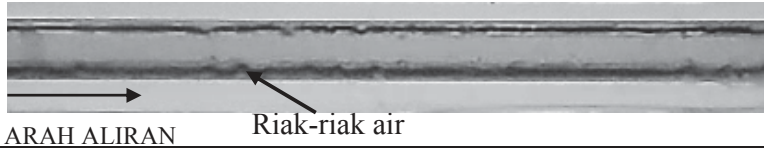
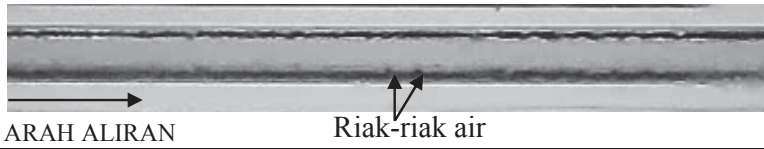
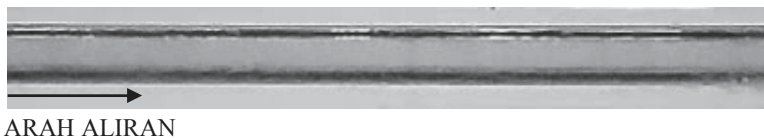
Pengaruh kenaikan kecepatan superfisial udara terjadi pada semua konsentrasi yang diujikan (50%, 60%, dan 70%). Efek yang ditimbulkan dengan kenaikan nilai  $J_G$  juga sama dengan pengujian yang dilakukan dengan konsentrasi 40% ini, yaitu berkurangnya riak air yang timbul di permukaan luar aliran.

Pola aliran *annular* yang berhasil di amati pada nilai  $J_L$  tetap dengan menggunakan variasi nilai  $J_G$  seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Tabel 4.22 dengan variasi gliserin 40%, Tabel 4.24 dengan variasi gliserin 50%, Tabel 4.26 dengan variasi gliserin 50%, dan Tabel 4.28 dengan variasi gliserin 70%.

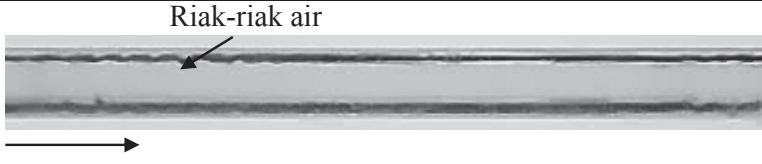
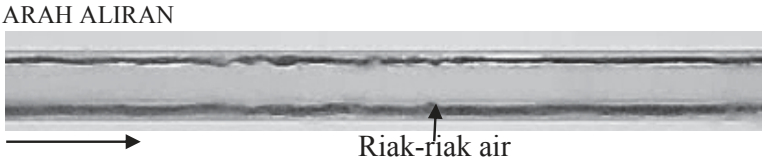
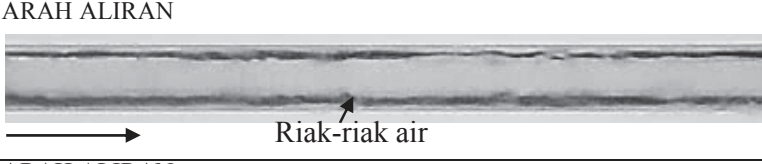
**Tabel 4.23** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 66,3$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,091	
2	0,232	
3	0,7	

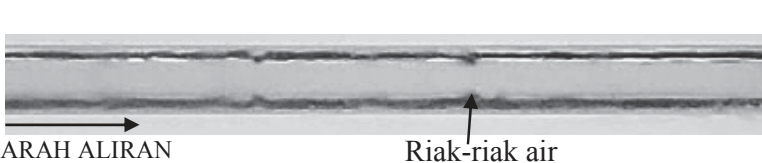
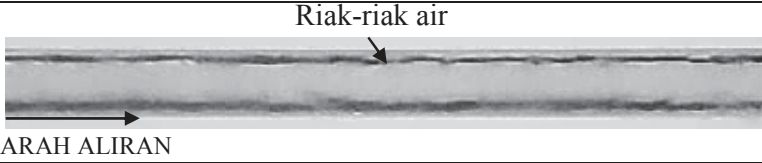
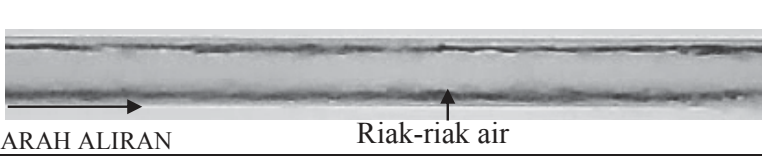
**Tabel 4.24** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,149$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

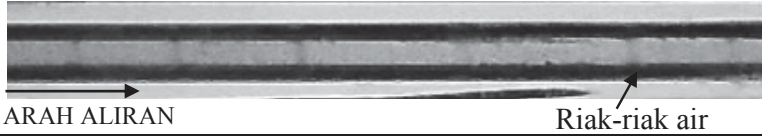

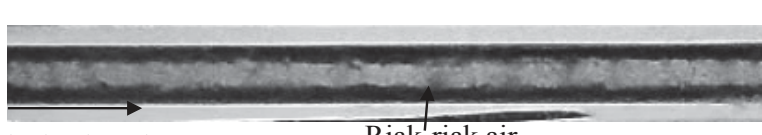
**Tabel 4.25** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 60%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 58,05$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,91	
2	0,539	
3	0,89	



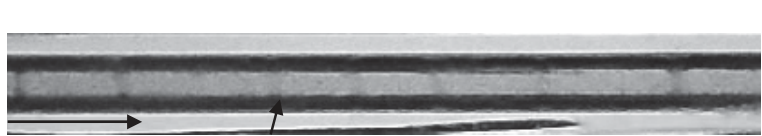
**Tabel 4.26** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 60%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,7$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

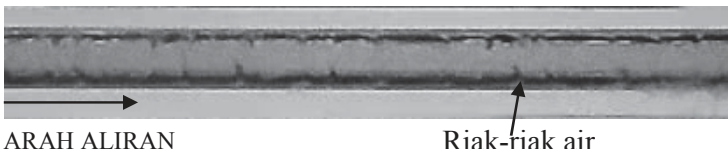
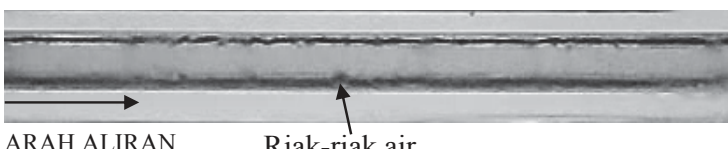


**Tabel 4.27** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 66,3$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,149	
2	0,7	
3	0,89	

**Tabel 4.28** Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 0,232$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	50	
2	58,05	
3	66,3	

**Tabel 4.29** Perbandingan pola aliran *annular* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G = 58,05$  m/s dan  $J_L = 0,232$  m/s

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

Pengaruh viskositas cairan yang dinaikan mengakibatkan riak-riak air akan berkurang intensitasnya dan alirannya bergerak semakin lambat jika di bandingkan dengan viskositas yang lebih rendah. Seperti pada Tabel 4.29 aliran *annular* dengan konsentrasi gliserin 40% terlihat memiliki riak-riak air yang cukup banyak mengalir acak dibagian atas dan bawah laju aliran udara yang sedang melaju. Seiring dengan kenaikan viskositas juga menyebabkan aliran menjadi lebih tenang. Kemunculan pola aliran *annular* dengan variasi konsentrasi gliserin terdapat sedikit perbedaan, yaitu pada konsentrasi gliserin 40% aliran *annular* mulai berubah bentuk pada nilai  $J_L = 0,7$  m/s, sedangkan untuk konsentrasi gliserin 50%, 60%, dan 70% aliran berubah bentuk pada nilai  $J_L = 2,297$  m/s.






#### 4.1.5. Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* memiliki bentuk seperti bayangan hitam yang disebabkan laju aliran air yang melaju secara acak dan tidak teratur (terdistorsi) dalam inti udara. Pola aliran yang sebelumnya muncul aliran *slug annular*, dan *annular* mulai tergantung oleh pola aliran *churn*, hal ini dipengaruhi oleh kenaikan nilai  $J_L$ . Dengan nilai kecepatan superfisial udara yang juga tinggi mengakibatkan turbulensi pada aliran air yang terdispersi secara acak. Sehingga ketika pengambilan video hanya terlihat bayangan hitam pada inti udara yang diselimuti aliran fluida cair yang sangat cepat.

Munculnya pola aliran *churn* bermula ketika nilai  $J_G$  tepat jauh lebih tinggi dari nilai  $J_L$ , berbanding terbalik dengan aliran *bubbly* yang terjadi pada nilai  $J_L$  yang lebih tinggi dari nilai  $J_G$ . Untuk tiap variasi konsentrasi gliserin, pola aliran *churn* terjadi pada nilai  $J_G$  yang sama dengan nilai  $J_L$  yang bervariasi.

**Tabel 4.30** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 40%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 7$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi


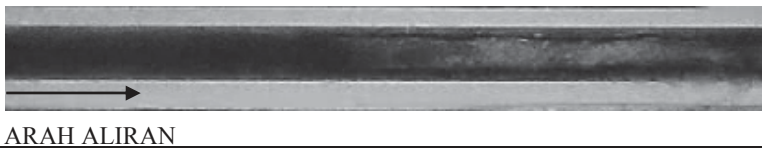

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	0,7	 ARAH ALIRAN
2	0,89	 ARAH ALIRAN
3	2,297	 ARAH ALIRAN

Pengamatan pola aliran *churn* terhadap pengaruh variasi nilai  $J_L$  terlihat seperti pada pada Tabel 4.30, dengan konsentrasi gliserin 40% dan nilai  $J_G$  tetap,

yaitu 7 m/s. Terlihat pengaruh kenaikan nilai  $J_L$  mengakibatkan bayangan hitam yang melaju pada pola aliran *churn* menjadi lebih tebal. Hal ini disebabkan debit aliran air yang lebih besar, sehingga aliran air yang melaju cepat dan terdispersi merata di dalam saluran dengan intensitas kemunculan yang tinggi.

Pola aliran *churn* yang berhasil di amati pada nilai  $J_G$  tetap dengan menggunakan variasi nilai  $J_L$  seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Tabel 4.30 dengan variasi gliserin 40%, Tabel 4.32 dengan variasi gliserin 50%, Tabel 4.34 dengan variasi gliserin 50%, dan Tabel 4.36 dengan variasi gliserin 70%.

**Tabel 4.31** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 40%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 4,935$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi


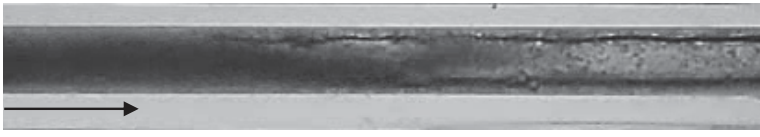
No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	7	
2	9,62	
3	58,05	

Perbandingan pola aliran dengan peningkatan nilai  $J_G$  dan nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 4,935$  m/s menyebabkan aliran udara menjadi lebih dominan. Hal ini ditandai dengan ciri-ciri aliran yang melaju dengan cepat dan berkurangnya intensitas bayangan hitam yang muncul. Akan tetapi bentuk aliran *churn* menjadi semakin panjang seiring dengan kenaikan nilai  $J_G$  seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.31.

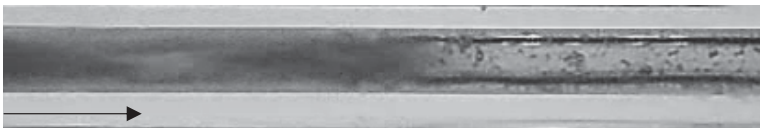


Pola aliran *churn* yang berhasil di amati pada nilai  $J_G$  tetap dengan menggunakan variasi nilai  $J_L$  seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Tabel

4.31 dengan variasi gliserin 40%, Tabel 4.33 dengan variasi gliserin 50%, Tabel 4.35 dengan variasi gliserin 50%, dan Tabel 4.37 dengan variasi gliserin 70%.

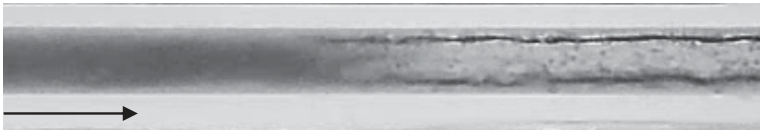

**Tabel 4.32** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 9,62$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	2,297	 ARAH ALIRAN
2	4,935	 ARAH ALIRAN




**Tabel 4.33** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 50%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 2,297$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	9,62	 ARAH ALIRAN
2	22,6	 ARAH ALIRAN
3	66,3	 ARAH ALIRAN



**Tabel 4.34** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 60%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 22,6$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	2,297	 ARAH ALIRAN
2	4,935	 ARAH ALIRAN

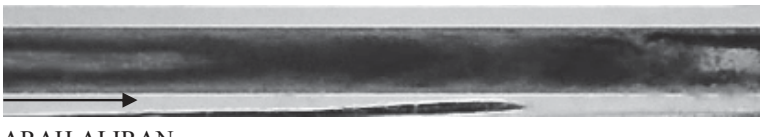


**Tabel 4.35** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 60%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 4,935$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	7	 ARAH ALIRAN
2	22,6	 ARAH ALIRAN
3	50	 ARAH ALIRAN




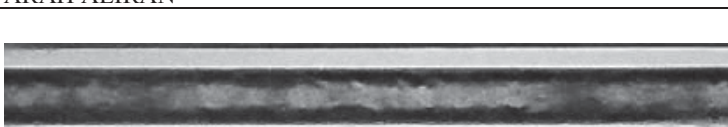
**Tabel 4.36** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_G$  tetap, yaitu  $J_G = 50$  m/s dan nilai  $J_L$  bervariasi

No	NILAI $J_L$ m/s	POLA ALIRAN
1	2,297	 ARAH ALIRAN
2	4,935	 ARAH ALIRAN

**Tabel 4.37** Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi gliserin 70%, nilai  $J_L$  tetap, yaitu  $J_L = 2,297$  m/s dan nilai  $J_G$  bervariasi

No	NILAI $J_G$ m/s	POLA ALIRAN
1	9,62	 ARAH ALIRAN
2	22,6	 ARAH ALIRAN
3	58,05	 ARAH ALIRAN

**Tabel 4.38** Perbandingan pola aliran *churn* untuk tiap campuran larutan gliserin dengan nilai  $J_G = 66,3$  m/s dan  $J_L = 2,297$  m/s

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

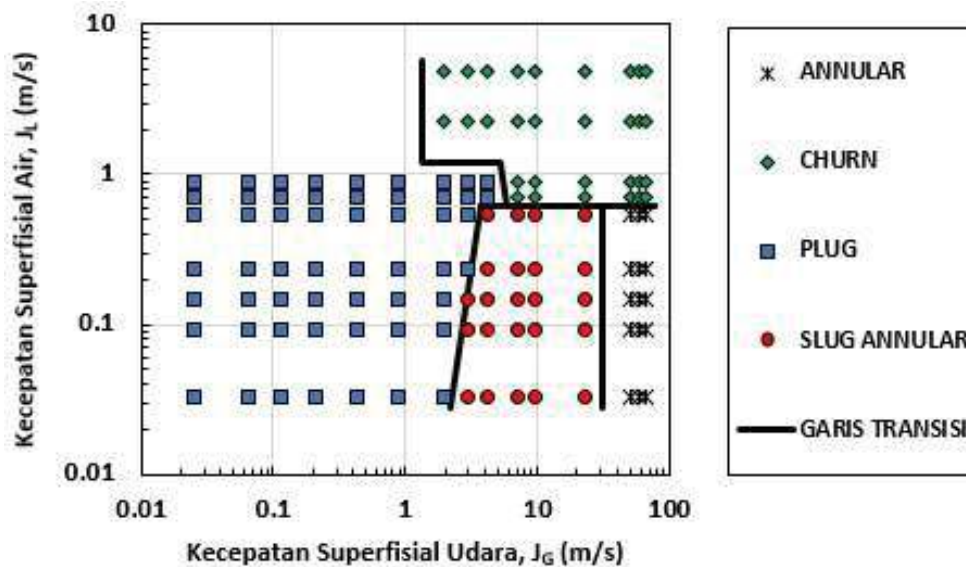
Kemunculan pola aliran *churn* memiliki perbedaan dalam beberapa variasi konsentrasi gliserin. Pada konsentrasi gliserin 40%, 50%, 60% pola aliran *churn* pertama kali terjadi pada nilai yang sama, yaitu nilai  $J_G = 1,941$  m/s dan nilai  $J_L = 2,297$  m/s. Namun terdapat sedikit tambahan kemunculan pola aliran dengan nilai  $J_L$  yang lebih awal terjadi pada konsentrasi 40%, yaitu saat nilai  $J_G = 7$  m/s dan  $J_L = 0,7-0,89$  m/s dan seterusnya sebelum mencapai nilai  $J_L = 2,297$  m/s. Sedangkan pada konsentrasi gliserin 70% awal mula kemunculan aliran *churn* terjadi pada nilai  $J_G = 3$  m/s dan  $J_L = 2,297$  m/s.

Pada pola aliran *churn* yang terbentuk, variasi nilai kecepatan superfisial tidak memiliki banyak perbedaan yang signifikan, karena hanya terlihat seperti bayangan hitam dari cairan yang terdistorsi di antara aliran inti gas yang melaju secara berkelanjutan. Dapat dilihat pada Tabel 4.38 merupakan perbandingan pola aliran *churn* dengan variasi konsentrasi gliserin 40%, 50%, 60, dan 70% dengan nilai  $J_G$  dan  $J_L$  yang sama, yaitu  $J_G = 66,3$  m/s dan  $J_L = 2,297$  m/s. Dari hasil

pengamatan yang didapat terlihat bahwa semakin meningkatnya konsentrasi larutan maka semakin lambat kecepatan alirannya dan berkurang bayangan hitam pada aliran. Tingginya nilai viskositas pada campuran konsentrasi gliserin 70%, menyebabkan bilangan Reynolds yang semakin rendah dan kemudian menyebabkan cairan yang melaju seperti bayangan hitam semakin berkurang.

#### **4.2. Peta Pola Aliran**

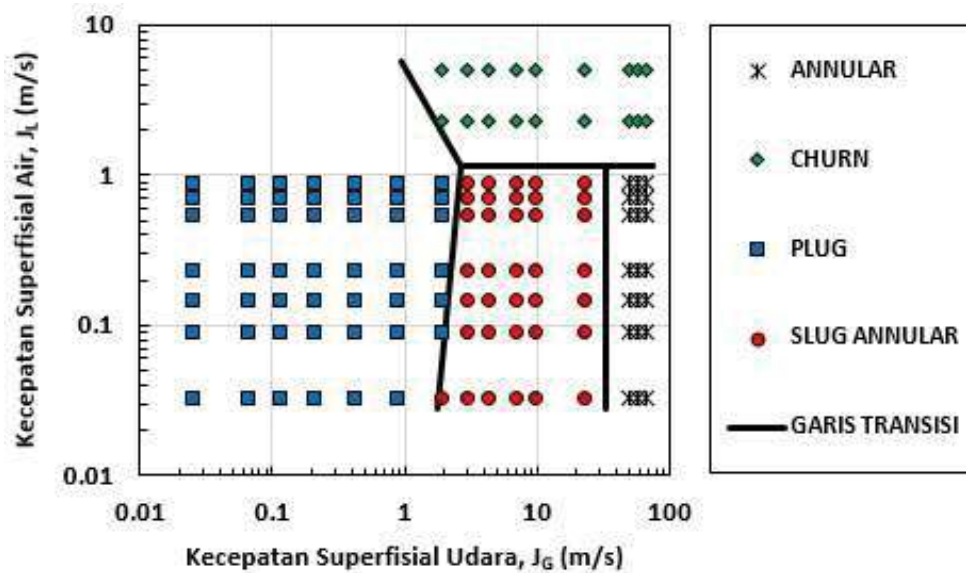
Pengamatan dan identifikasi yang telah dilakukan terhadap pola aliran yang terbentuk selanjutnya dipetakan dalam peta pola aliran. Penelitian ini mendapatkan jumlah 144 data pola aliran untuk tiap konsentrasi gliserin (40%, 50%, 60%, 70%) dengan variasi nilai  $J_G$  : 0 m/s hingga 66,3 m/s dan  $J_L$  : 0,033 m/s hingga 4,935 m/s. Untuk memetakan pola aliran yang telah diamati, nilai kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) diplot sebagai sumbu-x dan kecepatan superfisial air ( $J_L$ ) diplot sebagai sumbu-y. Nilai minimum sumbu-x yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan untuk nilai minimum sumbu-y yaitu 0,01 serta nilai maksimumnya 10. Skala logaritmik digunakan dalam proses pemetaan pola aliran ini. Garis transisi dan analisis mengenai garis transisi yang terjadi dapat ditentukan dengan peta pola aliran berikut. Garis transisi digambarkan dalam peta pola aliran untuk menunjukkan pada kondisi manakah aliran berubah dari satu pola aliran tertentu menjadi pola aliran lainnya.



**Gambar 4.1** Peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 40%

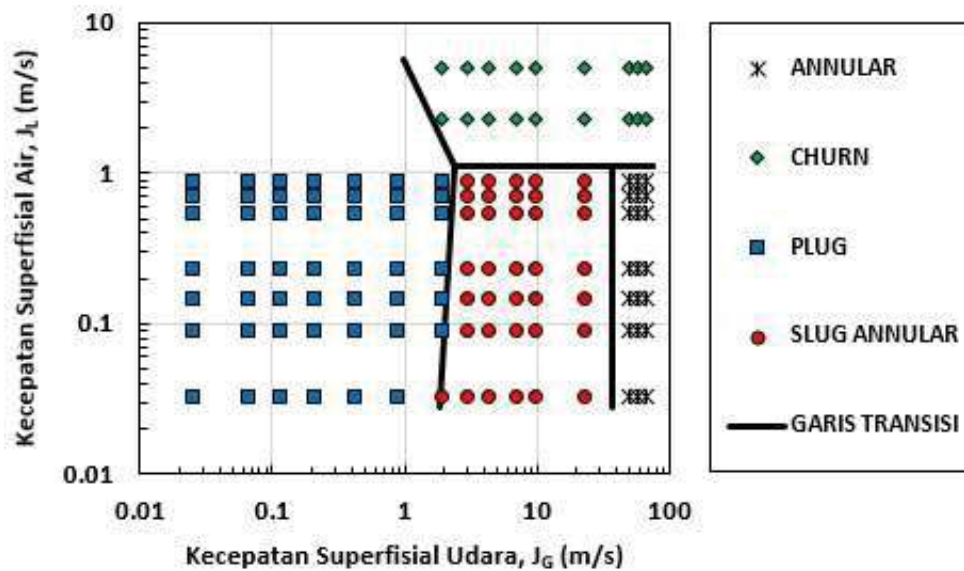
Gambar 4.1 menunjukkan peta pola aliran yang terbentuk pada campuran konsentrasi gliserin 40%. Dari semua data yang tersaji pada peta pola aliran ini, kemunculan pola aliran *plug* dan *churn* terlihat lebih dominan dibanding pola aliran yang lain. Aliran *plug* terjadi pada nilai  $J_G$  dan  $J_L$  yang relatif rendah, yaitu pada nilai  $J_G = 0,025 - 1,941$  m/s dan  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s. Seiring meningkatnya nilai  $J_L$  mengakibatkan area aliran *plug* akan mengalami perubahan bentuk aliran yang bermula pada nilai  $J_L = 2,297 - 4,935$  m/s dengan nilai  $J_G = 0,025 - 0,871$  m/s. Akan tetapi pola aliran yang seharusnya *bubbly*, dengan konsentrasi gliserin 40% tidak dapat ditemukan. Sedangkan meningkatnya nilai  $J_G$  menyebabkan area aliran *plug* meluas ke kanan mendekati garis transisi aliran *slug annular* yang mulai terbentuk pada nilai  $J_G = 3$  m/s dengan nilai  $J_L = 0,033 - 0,539$  m/s. Selanjutnya pada aliran *slug annular* yang mengalami peningkatan nilai  $J_G$  akan mendekati garis transisi *annular* yang bermula pada nilai  $J_G = 50$  m/s dengan nilai  $J_L = 0,033 - 0,539$  m/s pada. Berbanding terbalik dengan aliran *plug*, aliran *churn* terjadi ketika nilai  $J_G$  dan  $J_L$  sama sama tinggi. Pola aliran *churn* mulai teramati pada nilai  $J_G = 1,941 - 66,3$  m/s dengan nilai  $J_L = 0,7 - 4,935$  m/s.





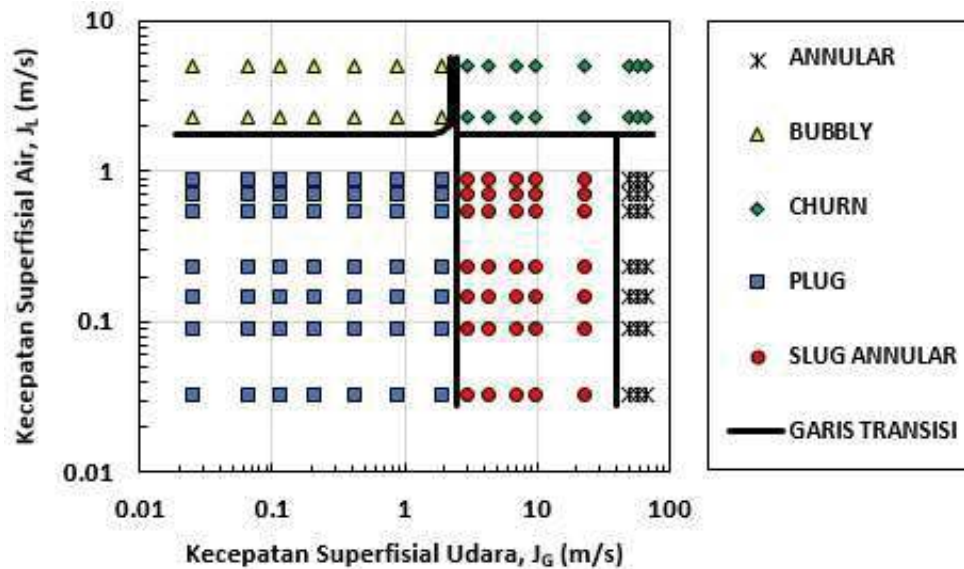
**Gambar 4.2** Peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 50%

Peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 50% terlihat pada Gambar 4.2, bahwa intensitas pola aliran *plug* dengan nilai  $J_G = 0,025 - 0,871$  m/s dan nilai  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s mulai berkurang akibat bergesernya garis transisi pola aliran *slug annular* yang lebih awal terjadi pada nilai  $J_G = 1,941$  dengan nilai  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s. Sedangkan aliran *bubbly* masih belum teramati sama halnya dengan konsentrasi gliserin 40% pada nilai  $J_L = 2,297 - 4,935$  m/s dengan nilai  $J_G = 0,025 - 0,871$  m/s. Aliran *annular* yang berbatasan dengan *slug-annular* bermula pada nilai  $J_G$  yang sama dengan konsentrasi 40% yaitu pada nilai  $J_G = 50$  namun dengan nilai  $J_L$  yang semakin tinggi yaitu  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s. Pada garis transisi *slug-annular* dan *annular* yang berbatasan dengan pola aliran *churn*, akan mengalami perluasan ke atas. Intensitas pola aliran *churn* pada konsentrasi 50% ini mulai berkurang dengan nilai  $J_G$  yang sama dengan konsentrasi 40% ( $J_G = 1,941 - 66,3$  m/s), akan tetapi terjadi pada nilai kecepatan superfisial yang berbeda, yaitu pada nilai  $J_L = 2,297 - 4,935$  m/s.



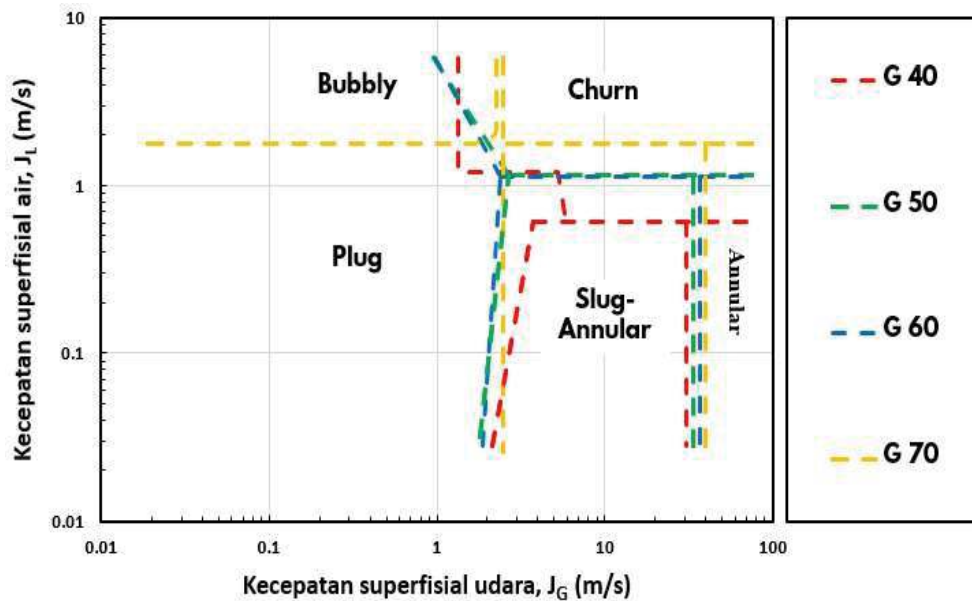
**Gambar 4.3** Peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 60%

Peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 60% ditunjukkan pada Gambar 4.3 relatif tidak mengalami pergeseran garis transisi ataupun menyerupai peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 50%. Pola aliran *plug* yang disajikan dalam peta pola aliran memiliki luasan yang sama dengan konsentrasi gliserin 50% yaitu berada pada  $J_G = 0,025 - 0,871$  m/s dan  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s. Kenaikan nilai  $J_L$  pada nilai  $J_L = 2,297 - 4,935$  m/s dan nilai  $J_G = 0,025 - 0,871$  m/s juga belum terlihat aliran *bubbly* yang muncul. Sedangkan dengan meningkatnya nilai  $J_G$  dengan nilai  $J_L$  yang tetap pada aliran *plug* akan berbatasan dengan pola aliran *slug annular* yang bermula pada nilai  $J_G = 1,941$  dengan nilai  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s. Untuk pola aliran *annular* terjadi setelah aliran *slug annular* mengalami kenaikan nilai  $J_G$  dengan  $J_L$  tetap. Hal ini mengakibatkan pola aliran *annular* memiliki luasan area yang sama dengan campuran konsentrasi 50%, yaitu bermula pada nilai  $J_G = 50$  dengan nilai  $J_L = 0,033-0,89$  m/s. Selanjutnya pada pola aliran *slug annular* dan *annular* yang mengalami kenaikan nilai  $J_L$  akan berbatasan dengan aliran *churn* yang bermula pada nilai  $J_L = 2,297 - 4,935$  m/s dengan nilai  $J_G = 1,941 - 66,3$  m/s.



**Gambar 4.4** Peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 70%

Gambar 4.4 menunjukkan peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 70%, dari peta tersebut terlihat bahwa aliran *bubbly* mulai teramati. Garis transisi aliran *plug* dan *bubbly* yang terjadi sejajar memiliki kesamaan terhadap posisi horizontal dengan nilai  $J_G$  yang sama yaitu  $J_G = 0,025 - 1,941$  m/s. Namun memiliki perbedaan pada nilai  $J_L$  yang digunakan, untuk aliran *plug* terjadi pada nilai  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s, sedangkan untuk aliran *bubbly* terjadi pada nilai  $J_L = 2,297 - 4,935$  m/s. Terlihat intensitas aliran *slug annular* berkurang dikarenakan pola aliran *plug* yang mengalami perluasan. Aliran *slug annular* terjadi pada nilai  $J_G = 3 - 22,6$  m/s dan  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s. Sedangkan untuk aliran *annular* yang terlihat dalam peta pola aliran yang relatif sama dengan konsentrasi 50% dan 60%, terjadi pada nilai  $J_G = 50 - 66,3$  m/s dan nilai  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s. Selanjutnya garis transisi untuk pola aliran *churn* yang sebelumnya terbentuk pada konsentrasi 50% dan 60% relative sama, mengalami pergeseran ke kanan akibat intensitas kemunculan aliran *bubbly* yang lebih banyak. Aliran *churn* yang teramati pada konsentrasi gliserin 70% terjadi pada nilai  $J_L$  yang sama yaitu  $J_L = 2,297 - 4,935$  m/s dengan nilai  $J_G = 3 - 66,3$  m/s.



**Gambar 4.5** Perbandingan peta pola aliran dengan konsentrasi gliserin 40%, 50%, 60%, dan 70%

Pada Gambar 4.5 terlihat perbandingan peta pola aliran dengan variasi konsentrasi gliserin 40%, 50%, 60%, dan 70% yang terpasang secara horizontal dengan sudut kemiringan  $15^\circ$  pada pipa berukuran mini, yaitu 1,6 mm. Dalam peta pola aliran yang telah ditampilkan dengan berbagai variasi konsentrasi gliserin ini, selanjutnya dibuat sedikit perbedaan agar garis transisi menjadi mudah dalam proses pembacaan dan analisa peta pola aliran.

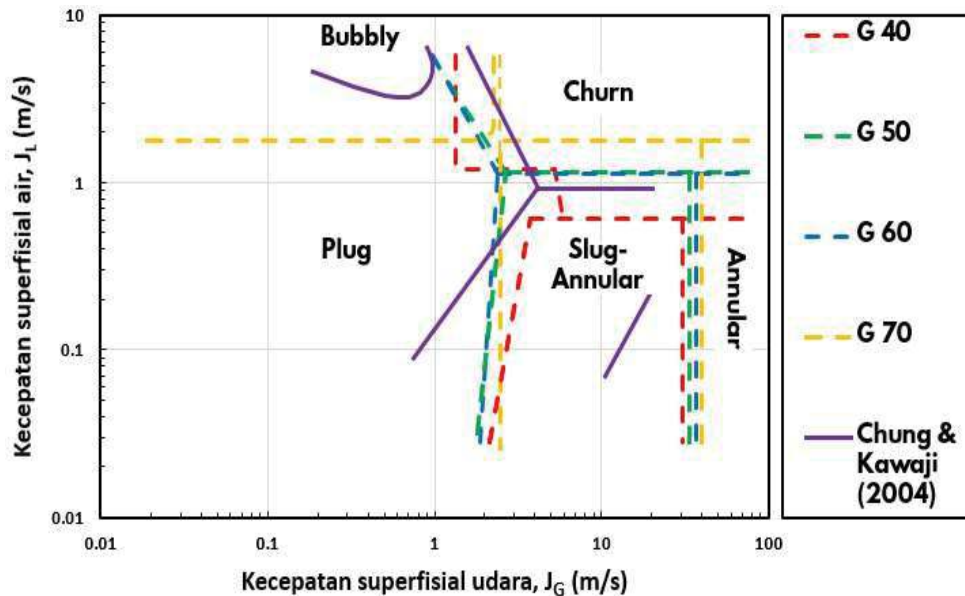
Luasan area pola aliran *plug* pada konsentrasi gliserin 40% memiliki luasan yang lebih besar daripada konsentrasi gliserin 50 - 70%, pada konsentrasi gliserin 50% dan 60% yang memiliki kesamaan peta pola aliran akan bergeser sedikit ke kiri, pada konsentrasi gliserin 70% yang terjadi pada nilai  $J_G = 0,025 - 3$  m/s terlihat tegak lurus terhadap posisi vertikal dengan nilai  $J_L = 0,033 - 0,89$  m/s. Area luasan transisi kemunculan *bubbly* hanya terjadi pada konsentrasi gliserin 70% dengan nilai  $J_G$  yang berkisar  $0,025 - 1,941$  m/s. Perbedaan luasan area pola aliran *slug annular* bervariasi, pada konsentrasi gliserin 40% luasan areanya lebih kecil dibandingkan konsentrasi lain yang lebih tinggi. Seiring meningkatnya konsentrasi gliserin menjadi 50 - 60% peta aliran yang terbentuk

relatif sama, akan tetapi pada konsentrasi gliserin 70% jumlah aliran *slug annular* menjadi berkurang akibat meningkatnya jumlah aliran *plug*. Selanjutnya pada pola aliran *annular* yang terjadi pada konsentrasi gliserin 40% memiliki luasan area yang paling kecil, dimana nilai tertinggi terdapat pada nilai  $J_L = 0,539$  m/s. Sedangkan yang terjadi pada konsentrasi gliserin 50-70%, luasan area aliran *annular* meningkat hingga muncul pada nilai  $J_L = 0,89$  m/s yang relatif tidak ada perbedaan sama sekali. Pola aliran *churn* memiliki luasan yang sama pada tiap variasi konsentrasi gliserinnya yang bermula pada nilai  $J_G = 1,941$  m/s, akan tetapi jumlah kemunculannya menjadi sedikit berkurang pada konsentrasi gliserin 70% yang bermula pada nilai  $J_G = 3$  m/s.

#### 4.3. Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan hasil peta pola aliran dalam penelitian ini dengan penelitian terdahulu perlu dilakukan untuk mengetahui konsistensi dan perubahan garis transisi yang disebabkan oleh perubahan metode dan parameter tertentu yang dilakukan dalam pengujian. Beberapa penelitian yang mencantumkan peta pola aliran dalam penelitian akan digunakan sebagai perbandingan, yaitu milik Chung & Kawaji (2004) dan Sudarja dkk (2018).

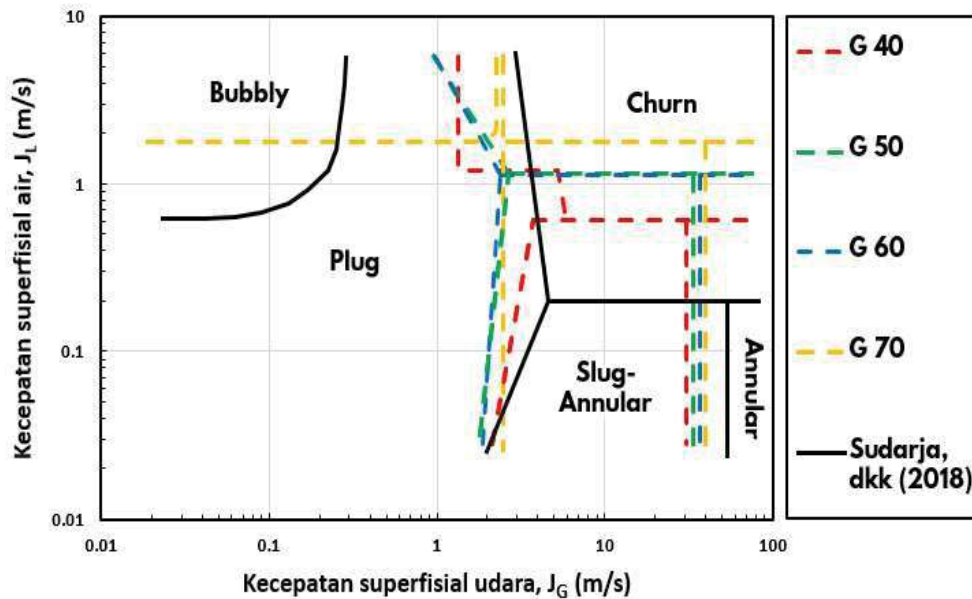
Chung & Kawaji (2004) melakukan penelitian aliran dua fase yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter terhadap pola aliran yang terbentuk. Variasi yang digunakan yaitu saluran pipa berdiameter 530, 250, 100, dan 50  $\mu\text{m}$  dengan media kerjanya berupa gas nitrogen dan air. Kecepatan superficial udara berkisar 0,02 m/s – 72,98 m/s, sedangkan kecepatan superficial air berkisar 0,01 m/s – 5,77 m/s. Hasil dari visualisasi pola aliran pada tiap variasi ukuran diameter memiliki perbedaan, sehingga peta aliran yang terbentuk berbeda. Untuk pipa berdiameter 530 dan 250  $\mu\text{m}$  aliran yang teramati yaitu *bubbly*, *slug*, *churn*, *slug-annular* dan *annular*. Sedangkan untuk pipa berdiameter 100 dan 50 hanya pola aliran *slug* yang teramati.



**Gambar 4.6** Perbandingan peta pola aliran penelitian ini (G40, G50, G60, dan G70) dengan penelitian milik Chung & Kawaji (2004)

Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan antara peta pola aliran penelitian ini dengan peta pola aliran milik Chung & Kawaji (2004). Hal penting yang menjadi perbedaan dalam perbandingan ini adalah ukuran pipa dan fluida cairan yang digunakan untuk perbandingan. Penelitian Chung & Kawaji (2004) menggunakan pipa berukuran  $530 \mu\text{m}$  dengan fluida kerjanya berupa gas nitrogen dan air, sedangkan penelitian ini menggunakan pipa berukuran  $1,6 \text{ mm}$  dengan fluida kerjanya berupa udara dan campuran akuades-gliserin.

Terlihat garis transisi *bubbly*, *plug*, *slug-annular* dan *annular* mengalami pergeseran yang mencolok. Pada garis transisi antara *plug* dan *bubbly* milik Chung dan Kawaji (2004) terletak di koordinat yang lebih tinggi dari penelitian ini. Garis transisi *plug* dan *slug-annular*, menunjukkan penelitian ini lebih tegak terhadap posisi vertikal dengan sedikit pergeseran untuk tiap variasinya. Hal ini sama dengan yang terjadi pada garis transisi *slug-annular* dan *annular*. Sedangkan untuk garis transisi *churn* milik Chung dan Kawaji (2004) hampir mendekati pada penelitian ini dengan G50-G60.



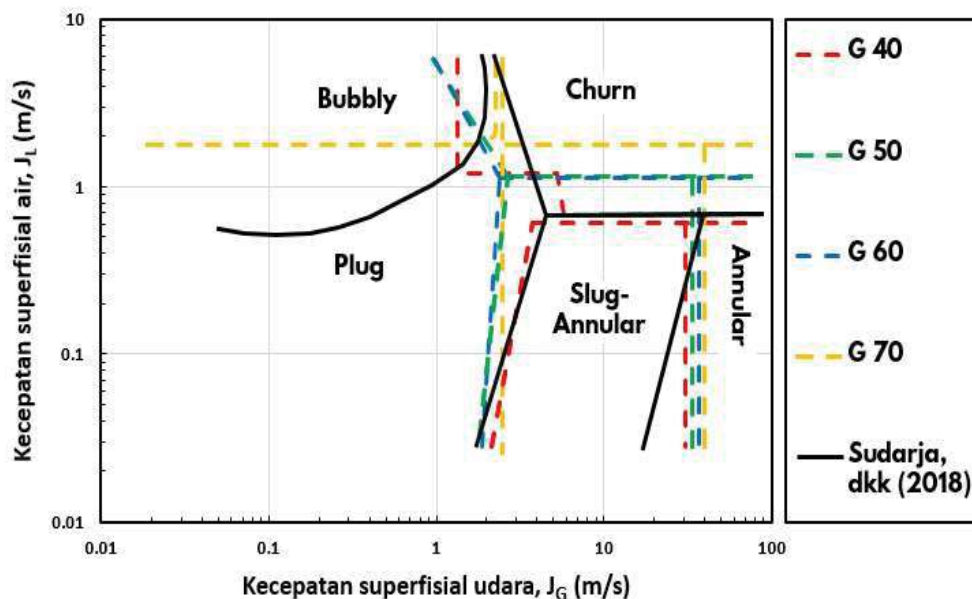
**Gambar 4.7** Perbandingan peta pola aliran penelitian ini (G40, G50, G60, dan G70) dengan penelitian milik Sudarja, dkk (2018) menggunakan air murni tanpa campuran (0%)

Penelitian tentang karakteristik aliran dua fase telah dilakukan Sudarja dkk, (2018) menggunakan saluran pipa berdiameter dalam 1,6 mm yang dialiri dengan fluida udara dan campuran fluida cair, yang berupa air dan gliserin dengan variasi konsentrasi 0%,20%,40%,60%. Variasi nilai kecepatan superfisial yang digunakan juga lebih banyak, yaitu dengan nilai  $J_G$  berkisar 0,025 m/s - 66,3 m/s dan nilai  $J_L$  berkisar 0,033 m/s - 4,935 m/s. Dalam penelitian ini metode penelitian dan alat kerja yang digunakan serupa, dengan sedikit perbedaan pada nilai variasi konsentrasi gliserin yang digunakan dan variasi sudut dalam penelitian ini tidak dilakukan pada peneliti terdahulu. Pola aliran yang dapat teramati pada penelitian Sudarja, dkk (2018) yaitu : *plug, bubble, slug annular, annular, churn*.

Perbandingan antara peta pola aliran penelitian ini dengan penelitian Sudarja, dkk (2018) dapat dilihat pada Gambar 4.7. Hal penting yang menjadi perbedaan dalam perbandingan ini adalah fluida cairan yang digunakan. Garis transisi penelitian Sudarja, dkk (2018) yang ditampilkan sebagai perbandingan peta pola aliran pada penelitian ini yaitu dengan air murni tanpa campuran gliserin

dengan nilai viskositas kinematiknya sebesar  $0,8 \text{ mm}^2/\text{s}$  dan nilai tegangan permukaannya sebesar  $71 \text{ mN/m}$ .

Terlihat pada peta pola aliran yang disajikan, semakin meningkat viskositas cairannya area *plug*, *bubbly*, *slug-annular*, *annular* akan semakin meluas. Pergeseran yang mencolok terlihat pada garis transisi *bubbly* dan *churn*. Garis transisi *bubbly* pada penelitian Sudarja, dkk (2018) berada dibawah dan bergeser ke kiri dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini mengakibatkan area *plug* yang semakin meluas dan menjadi berbatasan langsung dengan aliran *bubbly* dan *churn*. Untuk garis transisi *churn* pada penelitian Sudarja, dkk (2018) berada sejajar pada penelitian ini, namun dengan nilai  $J_L$  yang lebih rendah. Selanjutnya untuk aliran *slug-annular* dan *annular* terdapat sedikit pergeseran, aliran *annular* bermula dengan nilai  $J_G$  yang lebih tinggi dari kemunculan aliran *annular* pada penelitian ini.



**Gambar 4.8** Perbandingan peta pola aliran penelitian ini dengan penelitian milik Sudarja, dkk (2018) menggunakan campuran gliserin 60%

Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan antara peta pola aliran penelitian ini dengan peta pola aliran milik Sudarja, dkk (2018) yang menggunakan



konsentrasi gliserin 60% dengan nilai viskositas kinematiknya sebesar 5,6 mm<sup>2</sup>/s dan nilai tegangan permukaannya sebesar 61,87 mN/m.

Pergeseran yang mencolok yang terdapat pada peta yaitu garis transisi *plug* dan *annular*. Garis transisi *bubbly* pada penelitian Sudarja, dkk (2018) berada di bawah penelitian ini, yang artinya *bubbly* yang muncul terjadi lebih awal dan diikuti perluasan area *bubbly* dengan nilai yang mendekati  $J_G = 1,941$  m/s, berbanding terbalik dengan *plug* yang berkurang intensitasnya. Untuk garis transisi *annular* dan *slug-annular* pada penelitian ini terlihat lebih tegak tanpa kemiringan dibandingkan penelitian Sudarja, dkk (2018), yang menandakan luasan pola aliran *slug-annular* yang berkurang. Garis transisi antara *plug* dan *slug-annular* serta garis transisi *churn* dengan *annular/slug-annular* milik Sudarja, dkk (2018) mendekati nilai yang sama dengan G40 dalam penelitian ini dengan sedikit pergeseran pada nilai  $J_G$  pada garis transisi *churn*.