

INVESTIGASI POLA ALIRAN DUA FASE UDARA AIR DAN GLISERIN (40 – 70 %) PADA PIPA KAPILER DENGAN KEMIRINGAN 45° TERHADAP POSISI HORIZONTAL

Andi Cahyaningtyas^{1,a}, Sukamta^{1,b}, Sudarja^{1,c},

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183

andityas95@yahoo.com, msukamta@gmail.com, sudarja@umy.ac.id

Abstrak

Aliran dua fase merupakan aliran yang mengalir dalam suatu saluran pada satu waktu secara bersamaan yang terdiri dari dua fase/bentuk fluida (cair-gas, cair-padat, padat-gas). Dalam aliran dua fase distribusi masing-masing fase merupakan hal yang sangat penting karena dapat mempengaruhi karakteristik suatu aliran. Terbentuknya pola aliran dipengaruhi oleh viskositas suatu fluida cair, nilai kecepatan superfisial gas dan nilai kecepatan superfisial fluida cair. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan pola aliran dan peta pola aliran terhadap nilai viskositas, variasi sudut, kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial cairan. Penelitian dilakukan pada pipa mini berdiameter 1,6 mm yang dipasang pada sudut 45° terhadap posisi horizontal.

Fluida yang digunakan berupa campuran udara-air dan gliserin dengan konsentrasi 40%, 50%, 60%, dan 70%. Pengambilan video pola aliran menggunakan kamera Nikon J4 hasil video yang didapat selanjutnya dianalisa bentuk pola alirannya berdasarkan nilai J_G dan J_L . Kemudian dipetakan dalam bentuk peta pola aliran dengan J_G sebagai sumbu x dan J_L sebagai sumbu y. Hasil dari penelitian menunjukkan semakin tinggi nilai viskositas berpengaruh terhadap bentuk pola aliran. Dalam penelitian ini terdapat lima pola aliran yaitu: bubble, plug, slug-annular, annular, dan churn. Viskositas cairan berpengaruh terhadap pola aliran yang terbentuk. Perbandingan peta pola aliran dengan hasil penelitian terdahulu terjadi beberapa perbedaan pada garis transisi.

Kata Kunci: Fluida, peta pola aliran, viskositas, kecepatan superfisial.

1. PENDAHULUAN

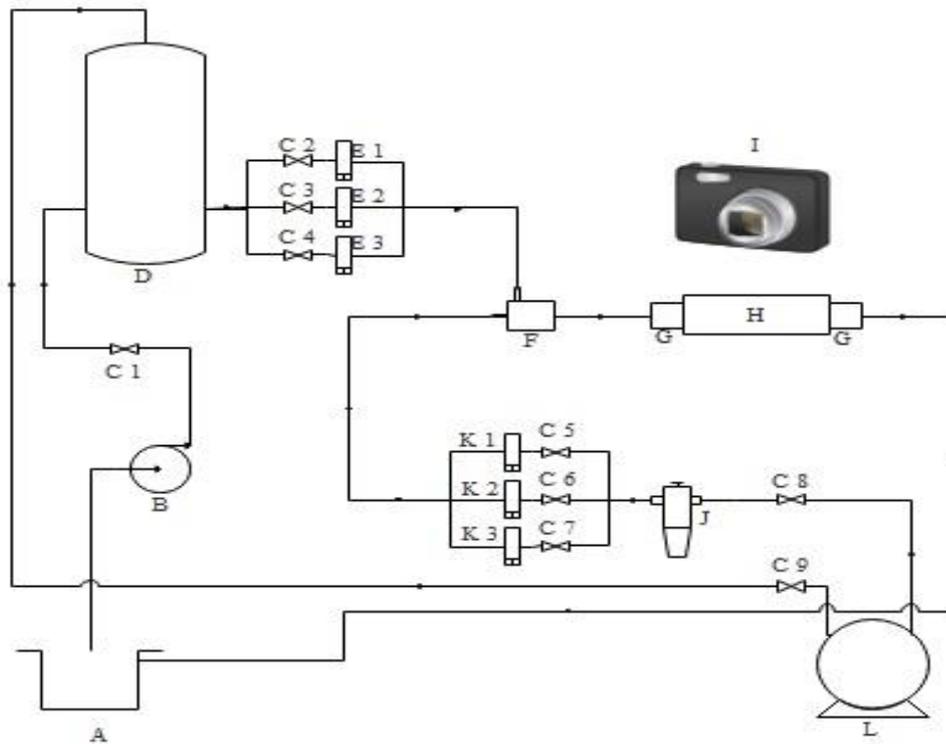
Aliran dua fase merupakan aliran yang mengalir dalam suatu saluran pada satu waktu secara bersamaan yang terdiri dari dua fase/bentuk fluida (cair-gas, cair-padat, padat-gas). Berdasarkan ukuran salurannya, aliran dua fase dapat digolongkan diantaranya *Conventional channels* $D > 3\text{mm}$, *minichannels* $> D 200\ \mu\text{m}$, *microchannels* $200\ \mu\text{m} > D > 10\ \mu\text{m}$, *transisional channels* $10\ \mu\text{m} > D > 0,1\ \mu\text{m}$, dan *molecular nanochannels* $0,1\ \mu\text{m} > D$ [1]. Berdasarkan bentuk saluran: segitiga (*triangular*), persegi (*rectangular*), dan lingkaran (*circular*).

Aliran dua fase merupakan fenomena paling sederhana dari aliran multi fase. Dalam aliran dua fase distribusi masing-masing fase merupakan hal yang sangat penting karena dapat mempengaruhi karakteristik suatu aliran, ini sering disebut sebagai pola aliran dan peta pola aliran. Pada aliran dua fase yang terjadi didalam saluran berukuran mini dan mikro fluida memiliki sifat yang cukup unik, yaitu terbentuknya pola aliran dipengaruhi oleh viskositas suatu fluida cair, nilai kecepatan superfisial fluida gas dan nilai kecepatan superfisial fluida cair. Aliran dua fase pada saluran kecil (mini dan micro) telah banyak diaplikasikan dan terus dikembangkan karena penggunaannya yang luas dalam sains dan teknologi canggih seperti rancangan alat medis, sistem pendingin AC, radiator, dan sistem pendingin kriogenik pada satelit.

Penelitian tentang aliran dua fase sudah banyak dilakukan sebelumnya dan dari penelitian tersebut telah didapatkan berbagai macam pola aliran dan peta pola aliran. Salah satu contohnya Triplett dkk. (1999) telah melakukan penelitian mengenai pola aliran dua fase menggunakan udara dan air percobaan dilakukan pada dua saluran mini dengan diameter yang berbeda. Ke-dua saluran tersebut yaitu 1,097 mm untuk saluran sirkular dan 1,45 mm untuk saluran semi-triangular, pola aliran yang berhasil diamati adalah *Bubble*, *Slug*, *Churn*, *Slug-Annular* dan *Annular*. Semua jenis pola aliran ini muncul pada kedua jenis saluran yang digunakan[2]

2. METODE

Komponen-komponen pada alat uji penelitian ini adalah tempat penampung air, pompa air, kompresor, bejana tekan, regulator, dan *mixer*. Peralatan pendukung dalam penelitian ini, adalah *optical correction box*, dan kamera. Alat ukur yang digunakan adalah *flowmeter* air, dan *flowmeter* udara. Skema alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada Gambar 2.1. Total panjang pipa yang digunakan pada peralatan penelitian ini adalah $\pm 1\ \text{m}$ dengan diameter dalam 1,6 mm dan diameter luar 2,6 mm. Panjang seksi uji adalah $\pm 0,13\ \text{m}$. Bahan yang digunakan adalah kaca akrilik. Pada penelitian ini campuran akuades dan gliserin yang berasal dari bak penampungan[B] akan dipompa dengan pompa air[C] kedalam bejana tekan[D] selanjutnya akan dialirkan melewati *flowmeter* air[E], sedangkan fluida gas yang berasal dari kompresor[A] dialirkan melewati *flowmeter* udara[I] sebelum masuk *flowmeter* udara akan melewati regulator[J] terlebih dahulu guna mendapatkan udara kering. Kedua jenis fluida akan bercampur didalam *mixer*[F] yang kemudian akan dialirkan ke *correction box*[G] untuk diambil gambar pola aliran menggunakan kamera[H] berkecepatan tinggi berdasarkan variasi nilai J_G dan J_L . Fluida gas atau udara akan di buang ke area sekitar, sedangkan fluida cair akan kembali ke dalam bak penampungan sementara untuk kemudian di pompakan kembali kedalam bejana tekan[D].



Gambar 2.1 Skemat alat Penelitian

Keterangan :

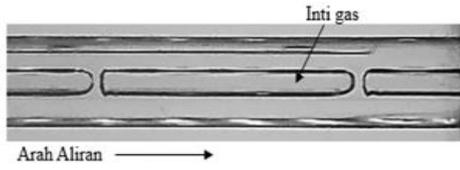
- A. Tempat penampung
- B. Pompa air
- C. valve
- D. Bejana tekan
- E. *Flowmeter* cair
- F. *Mixer*
- G. Flange
- H. Seksi uji
- I. Kamera
- J. Regulator/*water trap*
- K. *Flowmeter* gas
- L. Kompresor

QL(ml/min)		3.97	10.97	17.96	27.97	64.99	84.40	105.98	276.96	595.04
QG(ml/min)	JL	0.033	0.091	0.149	0.232	0.539	0.7	0.879	2.297	4.935
	JL	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.01	0.025	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.95	0.066	19	20	21	22	23	24	25	26	27
13.98	0.116	28	29	30	31	32	33	34	35	36
24.95	0.207	37	38	39	40	41	42	43	44	45
51.00	0.423	46	47	48	49	50	51	52	53	54
105.02	0.871	55	56	57	58	59	60	61	62	63
234.03	1.941	64	65	66	67	68	69	70	71	72
361.72	3	73	74	75	76	77	78	79	80	81
511.00	4.238	82	83	84	85	86	87	88	89	90
844.03	7	91	92	93	94	95	96	97	98	99
1159.94	9.62	100	101	102	103	104	105	106	107	108
2725.02	22.6	109	110	111	112	113	114	115	116	117
6028.8	50	118	119	120	121	122	123	124	125	126
6999.44	58.05	127	128	129	130	131	132	133	134	135
7994.19	66.3	136	137	138	139	140	141	142	143	144

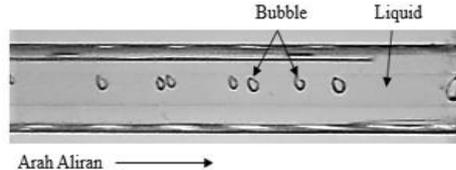
Tabel 1 Test matrix

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

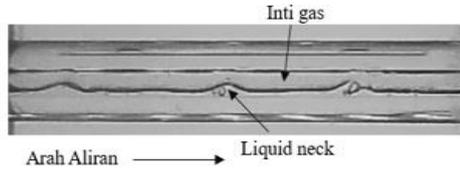
Penelitian pola aliran pada saluran mini dengan sudut 45° terhadap posisi horizontal didapatkan beberapa pola aliran, yaitu plug, bubble, slug annular, annular, dan churn. Pola aliran plug teramati pada J_G rendah (0,025-0,871 m/s) dan J_L rendah hingga sedang (0,033-0,7 m/s). Pola aliran plug merupakan pola aliran dimana fase gas berbentuk menyerupai peluru dan mengalir di antara cairan. Plug seringkali disebut sebagai elongated bubble karena merupakan pola aliran bubbly yang bentuknya memanjang. Pola aliran plug pada penelitian ini terlihat pada Gambar 1. Pola selanjutnya yang teramati adalah bubble yang terlihat pada Gambar 2. Pola aliran bubble terjadi pada J_G rendah (0,025-1,941 m/s) dan J_L sedang hingga tinggi (0,879-4,935 m/s). Pola aliran ini didominasi oleh fase cair. Pola ketiga yang teramati adalah slug annular, yang terjadi pada J_G sedang (1,941-9,62 m/s) dan J_L rendah hingga sedang (0,033-0,879 m/s). Pola aliran slug annular merupakan peralihan dari plug ke annular. Pada slug annular terbentuk liquid neck yang disebabkan oleh terbentuknya gelombang pada garis interface akibat tegangan geser dan viskositas. Pola aliran slug annular pada penelitian ini terlihat pada Gambar 3. Selanjutnya adalah pola aliran annular, yang terjadi pada J_G sedang hingga tinggi (22,6-66,3 m/s) dan J_L rendah hingga sedang (0,033-0,879 m/s). Pola aliran annular terlihat pada Gambar 4. Pola tersebut adalah pola aliran dimana fase gas mengalir di antara lapisan cairan yang mengalir didinding saluran bagian atas dan bawah. Pola aliran terakhir yang teramati adalah churn, yang terjadi pada J_G sedang hingga tinggi (0,423-66,3 m/s) dan J_L sedang hingga tinggi (2,297-4,935 m/s). Pola aliran churn merupakan pola aliran acak yang terbentuk dari perpanjangan bubble atau plug yang pada ujung ekornya mengalami ketidakstabilan. Pola aliran churn pada penelitian ini terlihat pada Gambar 5.



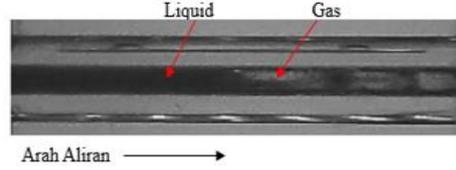
Gambar 1 Pola aliran plug
 J_G 0,116 m/s; J_L 0,091 m/s)



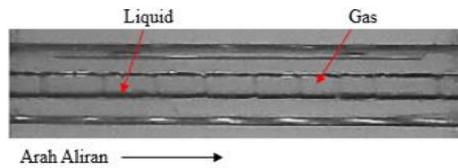
Gambar 2 Pola aliran Bubble
 J_G 0,066 m/s; J_L 0,879 m/s)



Gambar 3 Pola aliran Slug-annular
 J_G 4,238 m/s; J_L 0,149 m/s)

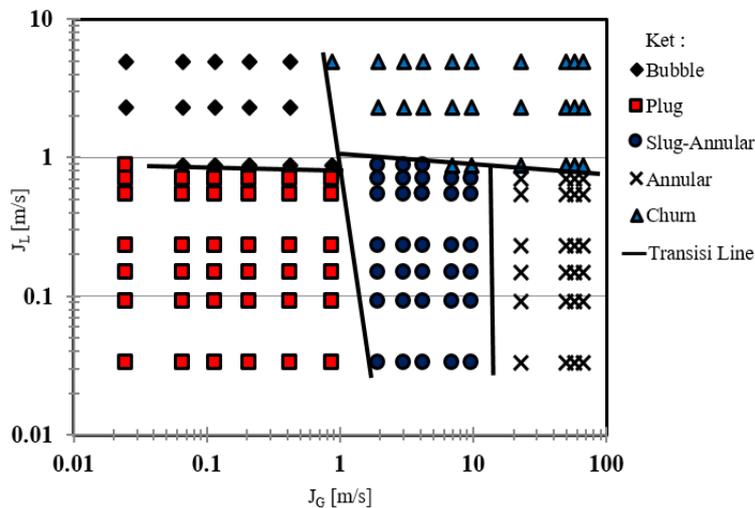


Gambar 4 Pola aliran Churn
 J_G 50 m/s; J_L 0,149 m/s)



Gambar 5 Pola aliran Annular
 J_G 50 m/s; J_L 2,297 m/s)

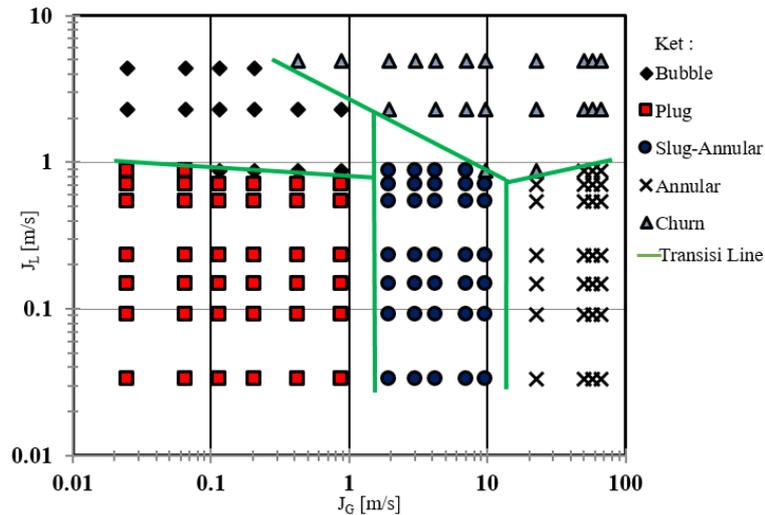
Pola yang berhasil didapatkan kemudian di petakan seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 6 Peta pola aliran campuran Gliserin 40%

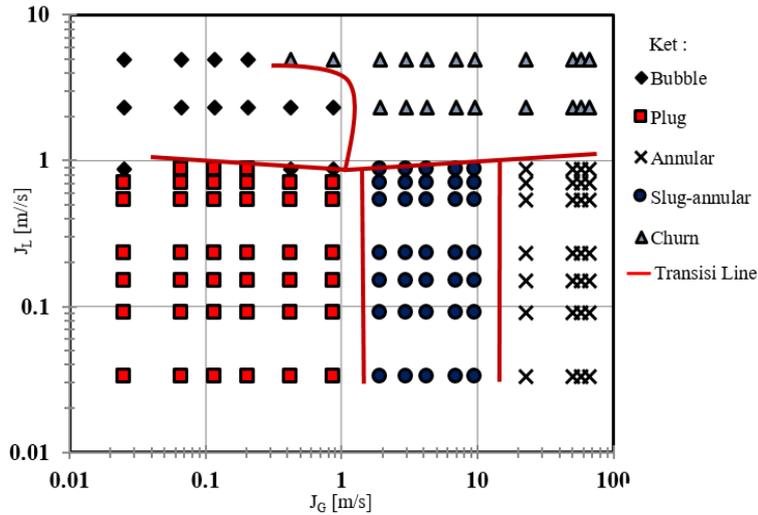
Gambar 6 menunjukkan peta pola aliran yang terbentuk pada campuran 40% gliserin. Dapat dilihat bahwa pola aliran *plug* lebih mendominasi dari pada pola aliran yang lain nya mulai terbentuk nya pola aliran ini ketika nilai J_G dan J_L rendah yaitu pada J_G 0,025 m/s dan J_L 0,033 m/s yang kemudian akan meluas seiring dengan dinaikannya nilai kecepatan superficial gas dan cairan. Dan pada sisi atas dari pola aliran *plug* terdapat pola aliran *bubble* yang mulai terbentuk ketika nilai J_G rendah dan nilai J_L tinggi yaitu pada J_G 0,025 m/s dan J_L

2.297 m/s. Kemudian pada sisi kanan dari pola aliran *plug* terdapat pola aliran *slug-annular* yang terbentuk pada J_G 1,941 m/s – 9,62 m/s dan J_L 0,033 m/s – 0,879 m/s. Dan kemudian setelah ditingkatkan nya kecepatan superfisial gas dengan kecepatan superfisial cairan sama seperti pola aliran *slug-annular* maka terbentuklah pola aliran *annular* atau ketika nilai J_G tinggi dan J_L rendah yang ditunjukkan pada sisi paling kanan bagian bawah dengan J_G 22,6 m/s – 66,3 m/s dan J_L 0,033 m/s – 0,7 m/s. Dan terakhir pola aliran *churn* yang ditunjukkan pada bagian sisi kanan paling atas yang artinya pola ini terbentuk pada nilai J_G dan J_L tinggi yaitu pada J_G 0,871 m/s – 66,3 m/s dan J_L 0,879 m/s – 4,935 m/s.



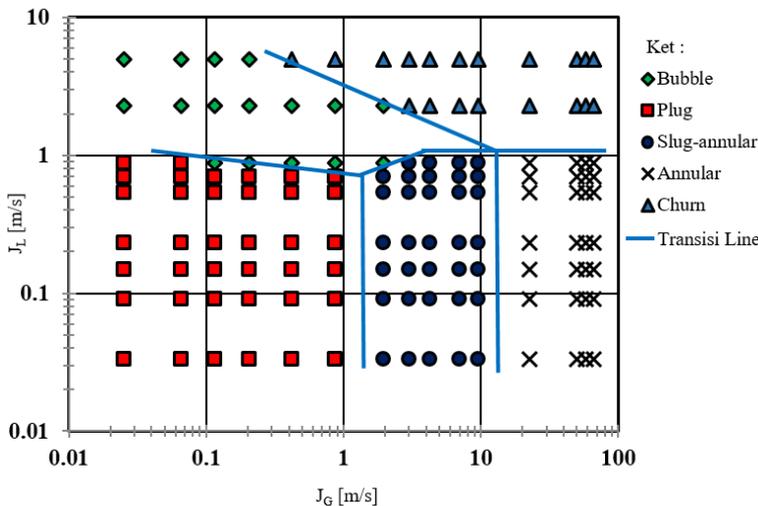
Gambar 7 Peta pola aliran campuran Gliserin 50%

Gambar 7 menunjukkan bentuk peta pola aliran pada campuran 50 % gliserin. Peta pola aliran diatas menunjukkan bahwa aliran *plug* masih tetap mendominasi sedangkan pola *bubble* hanya sedikit berkurang yang diakibatkan karena terdesak oleh naik nya garis transisi pola aliran *plug*. Dan pada J_G 1,941 m/s pola aliran *slug-annular* sudah mulai terbentuk, pada campuran ini terlihat pola aliran *slug-annular* terlihat sampai J_L 2,297 m/s. Berbeda dengan kemunculan *slug-annular* pada gliserin 40% yang hanya sampai pada J_L 0,879 m/s. Kemudian pada kecepatan superfisial gas J_G 0,423 m/s dan kecepatan superfisial cairan J_L 4.935 m/s pola aliran *churn* sudah mulai terbentuk dan kemunculan pola aliran *churn* ini terjadi ketika nilai kecepatan superfisial gas dan cairan sama-sama tinggi. Pada J_G 22,6 dan J_L 0,033 m/s pola aliran *annular* sudah mulai terbentuk hingga pada J_L 0,879 m/s dan jika kecepatan superfisial cairan ditambah lagi maka pola aliran *annular* akan berubah ke *churn*.



Gambar 8 Peta pola aliran campuran Gliserin 60%

Gambar 8 menunjukkan peta pola aliran pada campuran gliserin 60% terlihat pola aliran *churn* semakin naik dan mengalami pergeseran ke arah kiri dan kanan dan dengan naiknya pola aliran *churn* ini juga mempengaruhi kenaikan pada pola aliran *slug-annular* dan *annular*. Hal ini dapat dilihat dari bergesernya posisi pola aliran *churn* ke atas, pola aliran *churn* pada konsentrasi gliserin 60% mulai terbentuk pada J_G 0,423 m/s dan J_L 4,935 m/s sedangkan pada garis transisi antara pola aliran *plug* dan *bubble* juga mengalami sedikit pergeseran keatas namun tidak terlalu signifikan dan mengakibatkan kemunculan pola aliran *bubble* semakin merata, pada konsentrasi gliserin 60 % posisi mulai terbentuk nya pola aliran *bubble* yaitu pada J_G 0,025 m/s dan J_L 0,879 m/s dan berakhir pada J_G 0,871 m/s dan J_L 2,297 m/s.

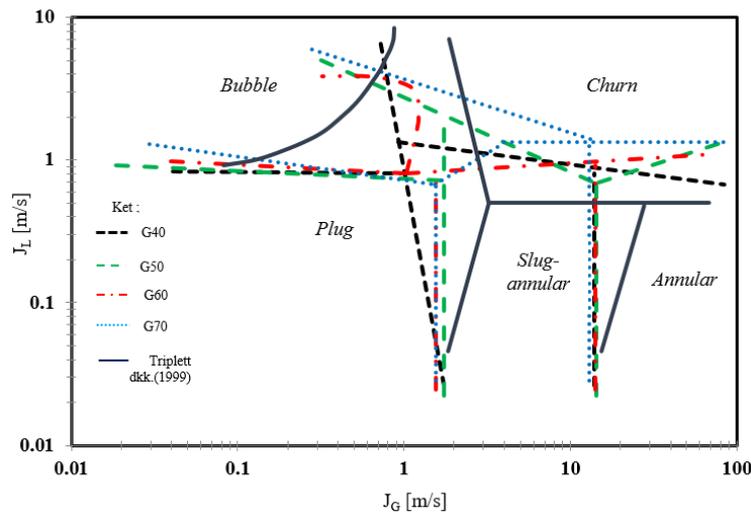


Gambar 9 Peta pola aliran campuran Gliserin 70%

Gambar 9 menunjukkan bahwa seiring meningkatnya konsentrasi pada campuran gliserin intensitas kemunculan pola aliran *bubble* semakin bertambah ini dapat terlihat pada garis transisi pola aliran *bubble* yang semakin bergeser ke arah kanan hingga pada kecepatan superfisial gas J_G 1,941 m/s dan J_L 2,297 m/s. Pada konsentrasi 70% juga terdapat pola aliran *plug* yang masih terbentuk hingga pada kecepatan superfisial cairan tinggi yaitu pada J_L 2,297 m/s dan J_G rendah 0,025 m/s. Namun pada pola aliran *slug-annular* dan *annular* masih terlihat tidak ada perubahan dengan yang konsentrasi gliserin sebelum

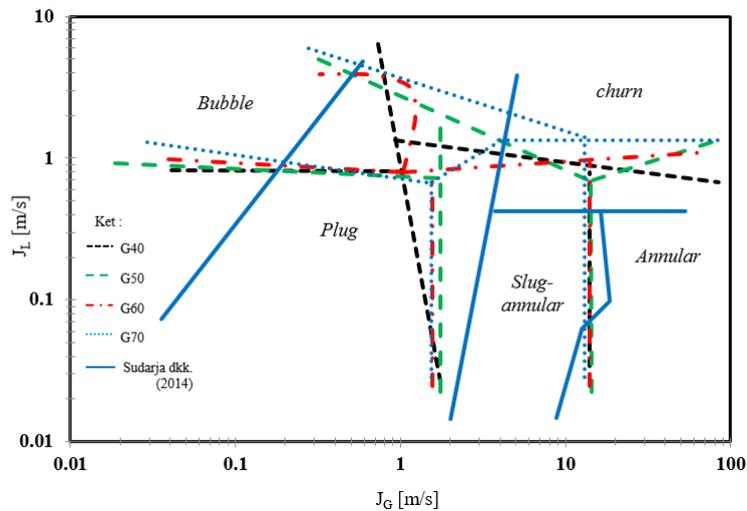
nya begitupun dengan pola aliran *churn* kemunculannya masih tetap pada J_G 0,423 m/s dan J_L 4,935 m/s.

Peta pola aliran yang didapatkan pada penelitian ditunjukkan dibawah ini selanjutnya, peta pola aliran tersebut dibandingkan dengan peta pola aliran beberapa peneliti aliran dua-fase di minichannel sebelumnya, yaitu Triplett dkk. [3], dan Sudarja dkk. [5]. Triplett dkk. [3] meneliti aliran udara-air pada saluran sirkular berdiameter 1,091 mm. Sudarja dkk. [5] meneliti aliran udara-air pada saluran sirkular berdiameter 1,6 mm.



Gambar 10 Perbandingan peta pola aliran dan garis transisi dengan hasil penelitian Triplett dkk. (1999)

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



Gambar 11 Perbandingan peta pola aliran dan garis transisi dengan hasil penelitian Sudarja dkk. (2014)

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

4. KESIMPULAN

Dari hasil yang telah diperoleh dari penelitian ini terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan yaitu :

1. Terdapat lima pola aliran yang terbentuk yaitu *plug*, *bubble*, *slug-annular*, *annular* dan *churn*.
2. Viskositas cairan yang semakin bertambah berpengaruh terhadap pola aliran yang terbentuk. Semakin tinggi nilai viskositas berpengaruh terhadap bentuk dari pola aliran *bubble*, *bubble* yang muncul akan semakin teratur dan kecil dan juga jarak antar *bubble* semakin rapat sedangkan pada pola aliran *plug* kenaikan viskositas berpengaruh terhadap panjang pendek dan juga kerapatan antar *plug*. Untuk aliran *slug-annular* dan *annular* tidak terdapat perubahan yang signifikan.
3. Hasil perbandingan peta pola aliran penelitian ini dengan peta pola aliran milik Triplett dkk. (1999) terjadi beberapa perbedaaan pada garis transisi. Hal ini terjadi karena penggunaan diameter pipa dan juga viskositas yang berbeda begitu juga dengan penelitian Sudarja dkk.(2014) yang berbeda pada penggunaan fluida cair.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kandlikar & Grande (2002). Evolusion of Microchannel Flow Passages-Thermohydraulic Performance and Fabrication Technology. *ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, 1-13.
- [2] Sudarja dkk. (2014). Investigasi Pola Aliran Dua-Fase Gas-Cairan di Dalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horizontal. 423-429.
- [3] Triplett dkk. (1999). Gas-Liquid Two-Phase Flow in Microchannels Part I: Two-Phase Flow Patterns. *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 25 377-394.