STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN SUPERFISIAL ALIRAN SEARAH TERHADAP KARAKTERISTIK DAN PARAMETER ALIRAN STRATIFIED PADA PIPA HORIZONTAL

Adolvin Arnol Mahadiputra[1], Karnowo[2], Samsudin Anis[3]

[1,2,3]Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang

samsudin_anis@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) terhadap karakteristik (visualisasi pola aliran stratified, frekuensi hydraulic jump dan kecepatan hydraulic jump) dan parameter (fraksi hampa, liquid holdup dan gradien penurunan tekanan) pola aliran stratified pada aliran air-udara pipa horizontal. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan pengujian variasi kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) yang dianalisa menggunakan metode image processing. Pengambilan data menggunakan high speed video camera dengan kecepatan 400 fps. Penelitian ini menggunakan pipa acrylic transparan berdiameter dalam 19 mm dan mempunyai penampang berbentuk lingkaran. Posisi pipa dalam keadaan horisontal dengan fluida air sebagai liquid dan udara sebagai gas. Penelitian ini dilakukan dengan asumsi temperatur ruang konstan. Hasil penelitian diperoleh kecepatan superfisial liquid dan gas yang optimal untuk menghindari hydraulic jump pada pengaplikasian industri dengan peningkatan maksimal kecepatan superfisial liquid (VSL) adalah 0,064 m/s dan kecepatan superfisial gas (VSG) adalah 3,254 m/s, untuk peningkatan VSL= 0,050 m/s maksimal peningkatan VSG = 4,140 m/. Penelitian ini menjelaskan perubahan kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) mempengaruhi karakteristik dan paramater pola aliran stratified. Hal ini ditunjukkan dengan berubahnya visualisasi bentuk pola aliran, nilai frekuensi hydraulic jump, kecepatan hydraulic jump, fraksi hampa, liquid holdup dan gradien tekanan.

Kata kunci: Kecepatan Superfisial, Aliran Searah, Aliran *Stratified*, Pipa *Horizontal*, Hydraulic *Jumper*

PENDAHULUAN

Pemahaman mengenai aliran multi fase merupakan hal yang sangat penting di dunia industri. Aliran multi fase ini banyak dijumpai di dunia industri khususnya pada sistem perpipaan perminyakan, fluida kerja nuklir, proses kimia dan makanan. Dalam dunia perminyakan terdapat aliran dengan multi fase yang terdiri dari minyak, lumpur, air dan gas. Kondisi ini harus diperhatikan, dan ditangani dengan benar karena dalam pendistribusian aliran multi fase memiliki karakteristik pola aliran berbeda yang dapat memengaruhi design perpipaan. Hu, dkk. (2014:162) menyatakan aliran multifase dalam pipa sangat sering terjadi dalam industri minyak bumi, berbagai proses kimia, nuklir dan makanan. Permodelan fisika yang dipercaya dapat mensimulasikan secara kompleks aliran multifase diperlukan untuk memastikan keberhasilan dan aplikasi industri yang dapat diprediksi.

Aliran *stratified* merupakan salah satu dari pola aliran multi fase pada kedudukan *horizontal*. Pola aliran ini sering terjadi pada sistem pendistribusian fluida di industri. Pada pendistribusian minyak dengan tujuan yang jauh sering dijumpai pola aliran stratified. Pola aliran stratified fase gas dan cair mengalir terpisah karena pengaruh perbedaan massa jenis. Ayati, dkk. (2014:129) menyatakan aliran dua fase stratified merupakan jenis aliran yang terjadi ketika kecepatan dari setiap fase relatif rendah. Aliran ini sering terjadi pada aplikasi perindustrian seperti perminyakan dan nuklir.

Mandhane, dkk. (1974) juga membuat peta pola aliran dua-fase pipa horisontal aliran searah dengan koordinat kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) dalam satuan (m/). Selain itu untuk salah satu parameternya, ALAdwani (2003:7) mengartikan *Liquid Holdup* sebagai fraksi area pipa atau kenaikan volume yang terisi oleh fase cair. Nilai dari *Liquid Holdup* berkisar antara 0 (total gas) sampai 1 (total liquid). Menurut ALAdwani (2003:8) kecepatan superfisial adalah kecepatan dimana sebuah fase akan terjadi pada saat mengalir melewati total area aliran.

Selain itu, Koestoer dan Proborini (1994:40-44) menyatakan dalam aliran terpisah, fase-fase secara fisik mengalir terpisah dengan kecepatan berbeda. Fraksi Hampa (*void fraction*) menurut Koestoer dan Proborini (1994:44-46) fraksi hampa didefinisikan sebagai

1. Fraksi dari volume saluran yang ditempati oleh fasa gas.
2. Fraksi dari luas penampang saluran yang ditempati oleh fasa gas

Lamari (2001:50-52) menyatakan bahwa dalam menghitung fraksi hampa rata-rata menggunakan persamaan Wallis (1969) dengan korelasi Lockhart dan Martinelli (1949). Penurunan tekanan merupakan perubahan tekanan karena aliran dua-fase mengalir melalui suatu sistem adalah parameter penting dalam perencanaan pendistribusian fluida. Menurut Rogero (2009:20-21) menjelaskan bahwa Menghitung penurunan tekanan digunakan pendekatan aliran secara homogen atau terpisah. Prediksi ini berdasarkan Martinelli dan Nelson (1948) pengali aliran dua- fase. Aliran terpisah digunakan korelasi dari Lockhart dan Martinelli (1949). Rumus ini berdasarkan data yang didapat pada pipa berdiameter dalam sampai 25.8 mm. Kalkulasi adiabatis penurunan tekanan aliran gesekan menggunakan pengali aliran dua-fase.

Oyewole (2009:51) dalam penelitiannya stratified didefinisikan sebagai pemisahan total dari fase cair dan fase gas dalam pipa dimana fase cair berada pada permukaan dalam bagian bawah pipa dan fase gas berada diatasnya. Aliran *stratified* dapat dikategorikan menjadi aliran stratified smooth dan *stratified wavy*. Aliran *stratified smooth* muncul pada aliran gas yang sangat rendah. Namun pada gas dengan rata-rata kecepatan tinggi menimbulkan gelombang pada *interface* dua fase dengan fase gas yang mencoba berakselerasi pada fase cair dan sebaliknya, inilah yang disebut aliran *stratified wavy*.

Berdasarkan tinjauan pustaka, studi tentang aliran dua-fase horizontal masih perlu dikembangkan karena karakteristik dan parameter fluida yang selalu berubah berpengaruh pada usia pipa. Karena itu diperlukan peninjauan lebih lanjut mengenai karakteristik dan parameter pola aliran stratified secara langsung pada sistem pendistribusian fluida untuk mengetahui karakteristik fluida tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) terhadap karakteristik (visualisasi dan frekuensi) dan parameter (liquid holdup, fraksi hampa dan penurunan tekanan). pola aliran stratified pada aliran air-udara pipa *horizontal*.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

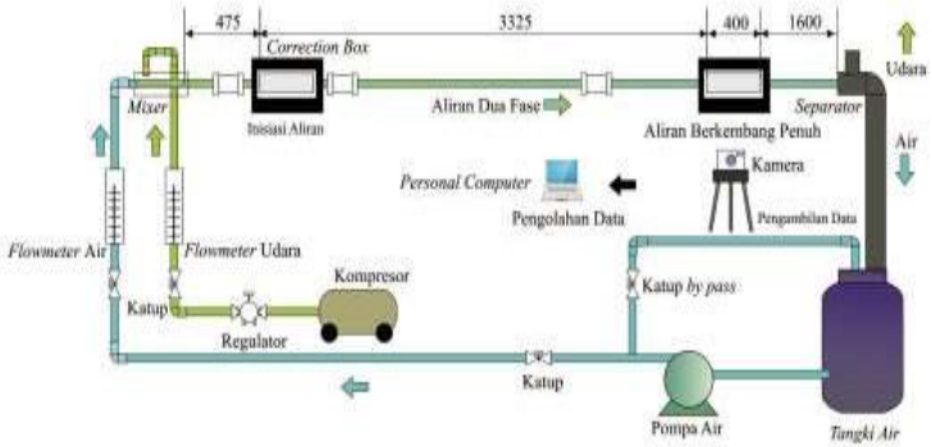
Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan superfisial udara dengan kecepatan superfisial cairan konstan untuk mendapatkan karakteristik dan parameter pola aliran stratified melalui *image processing*. Diameter dalam pipa 19 mm dan diambil dengan high speed video camera dengan kecepatan pengambilan 400 fps. Penelitian ini menganalisis karakteristik dan parameter pola aliran stratified yang meliputi jenis stratified, frekuensi stratified, fraksi hampa, *liquid holdup*, dan gradien penurunan tekanan yang dihasilkan melalui penangkapan gambar oleh *high speed camera* pada aliran air-udara. Kemudian data diolah menggunakan software *Virtual Dub* dan *Coreldraw.*

Matriks tersebut ditunjukan pada Tabel 1. Penentuan kecepatan superfisial digunakan persamaan (1) berikut.

Tabel 1. Matriks Penelitian

			Gas Phase				
	QG (lpm)		45,733	50,533	55,333	70,400	89,200
	VG (m/s)		2,690	2,972	3,254	4,140	5,246
Liquid Phase	QL (lpm)	VL (m/s)					
	0,462	0,027	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
	0,672	0,040	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
	0,850	0,050	M_{11}	M_{12}	M_{13}	M_{14}	M_{15}
	1,093	0,064	M_{16}	M_{17}	M_{18}	M_{19}	M_{20}
	1,293	0,076	M_{21}	M_{22}	M_{23}	M_{24}	M_{25}

Prosedur penelitian dengan tahapan mengisi tanki air yang telah disaring dengan kapasitas ± 90 % dan menyalakan pompa air. Menyalakan kompressor. Menentukan debit air dan udara menggunakan flowmeter air dan udara dengan hati- hati kemudian catat debit masing-masing. Mengambil data dengan menggunakan high speed camera pada kecepatan superfisial udara dan air yang diinginkan. Menyimpan hasil penangkapan gambar oleh kamera.



Gambar 1 Skema Alat Uji

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini menghasilkan nilai kecepatan, frekuensi hydraulic jump, fraksi hampa, holdup, dan gradient tekan seperti ditunjukkan oleh Tabel 2 hingga Tabel 6.

Tabel 2. Variasi Kec. Superfisial Gas (m/s) pada Kec. Superfisial Liquid (m/s)=0,027m/s

Debit *liquid* Q_L=0,462 *lpm*	Kecepatan superfisial *liquid* (V_{SL})=0,027 m/s						
Debit *gas* Q_G (lpm)	Kecepatan superfisial *gas* (V_{SG}) (m/s)	Karakteristik pola aliran *stratified*			Parameter pola aliran *stratified*		
		Jenis *stratified*	Kecepatan *hydraulic jump* (m/s)	Frekuensi *hydraulic jump* (Hz)	Fraksi hampa (α)	*Liquid Holdup* (H_L)	Penurunan tekanan (N/m^3)
45,733	2,690	*Smooth+wavy*	0,000	0,000	0,70	0,302	65,467
50,533	2,972	*Smooth+wavy*	0,000	0,000	0,71	0,282	72,225
55,333	3,254	*Smooth+wavy*	0,000	0,000	0,72	0,276	79,225
70,400	4,140	*Smooth+wavy*	0,000	0,000	0,76	0,241	101,088
89,200	5,246	*Smooth+wavy*	0,000	0,000	0,76	0,235	129,778

Tabel 3 Variasi Kec. Superfisial Gas (m/s) pada Kec. Superfisial Liquid (m/s)=0,040 m/s

Debit *liquid* Q_L=0,672 *lpm*	Kecepatan superfisial *liquid* (V_{SL})=0,040 m/s						
Debit *gas* Q_G (lpm)	Kecepatan superfisial *gas* (V_{SG}) (m/s)	Karakteristik pola aliran *stratified*			Parameter pola aliran *stratified*		
		Jenis *stratified*	Kecepatan *hydraulic jump* (m/s)	Frekuensi *hydraulic jump* (Hz)	Fraksi hampa (α)	*Liquid Holdup* (H_L)	Penurunan tekanan (N/m^3)
45,733	2,690	*Ripple*	0,000	0,000	0,64	0,357	78,553
50,533	2,972	*Ripple*	0,000	0,000	0,65	0,351	86,426
55,333	3,254	*Ripple*	0,000	0,000	0,66	0,336	94,368
70,400	4,140	*Ripple*	0,000	0,000	0,67	0,33	119,805
89,200	5,246	*Ripple*	0,000	0,000	0,69	0,311	152,652

Tabel 4 Variasi Kec. Superfisial Gas (m/s) Pada Kec. Superfisial Liquid (m/s)=0,050 m/s

Debit *liquid* Q_L=0,850 *lpm*	Kecepatan superfisial *liquid* (V_{SL})=0,050 m/s						
Debit *gas* Q_G (lpm)	Kecepatan superfisial *gas* (V_{SG}) (m/s)	Karakteristik pola aliran *stratified*			Parameter pola aliran *stratified*		
		Jenis *stratified*	Kecepatan *hydraulic jump* (m/s)	Frekuensi *hydraulic jump* (Hz)	Fraksi hampa (α)	*Liquid Holdup* (H_L)	Penurunan tekanan (N/m^3)
45,733	2,690	*Ripple*	0,000	0,000	0,61	0,388	87,341
50,533	2,972	*Ripple*	0,000	0,000	0,62	0,377	95,951
55,333	3,254	*Roll*	0,000	0,000	0,64	0,357	104,624
70,400	4,140	*Roll*	0,000	0,000	0,64	0,355	132,317
89,200	5,246	*Pseudo-slug*	1,631	0,440	0,76	0,238	167,916

Tabel 5 Kec. Superfisial Gas (m/s) pada Kec. Superfisial Liquid (m/s)=0,064 m/s (CO_2)

Debit *liquid* Q_L=1,093 *lpm*	Kecepatan superfisial *liquid* (V_{SL})=0,064 m/s						
Debit *gas* Q_G (lpm)	Kecepatan superfisial *gas* (V_{SG}) (m/s)	Karakteristik pola aliran *stratified*			Parameter pola aliran *stratified*		
		Jenis *stratified*	Kecepatan *hydraulic jump* (m/s)	Frekuensi *hydraulic jump* (Hz)	Fraksi hampa (α)	*Liquid Holdup* (H_L)	Penurunan tekanan (N/m^3)
45,733	2,690	*Ripple*	0,000	0,000	0,54	0,455	98,420
50,533	2,972	*Roll*	0,000	0,000	0,58	0,415	107,949
55,333	3,254	*Ripple*	0,000	0,000	0,60	0,395	117,531
70,400	4,140	*Pseudo-slug*	0,833	0,000	0,75	0,248	148,032
89,200	5,246	*Pseudo-slug*	2,04	0,330	0,76	0,244	187,053

Tabel 6 Variasi Kecepatan Superfisial Gas (m/s) Pada Kecepatan Superfisial Liquid (m/s)=0,076 m/s

Debit *liquid* Q_L=1,293 *lpm*	Kecepatan superfisial *liquid* (V_{SL})=0,076 m/s						
Debit *gas* Q_G (lpm)	Kecepatan superfisial *gas* (V_{SG}) (m/s)	Karakteristik pola aliran *stratified*			Parameter pola aliran *stratified*		
		Jenis *stratified*	Kecepatan *hydraulic jump* (m/s)	Frekuensi *hydraulic jump* (Hz)	Fraksi hampa (α)	*Liquid Holdup* (H_L)	Penurunan tekanan (N/m^3)
45,733	2,690	*Pseudo-slug*	1,257	0,440	0,69	0,311	107,092
50,533	2,972	*Pseudo-slug*	1,44	0,440	0,71	0,291	117,330
55,333	3,254	*Pseudo-slug*	1,714	0,440	0,71	0,285	127,614
70,400	4,140	*Pseudo-slug*	2,114	0,550	0,74	0,264	160,285
89,200	5,246	*Pseudo-slug*	2,733	0,660	0,74	0,257	201,951

PEMBAHASAN

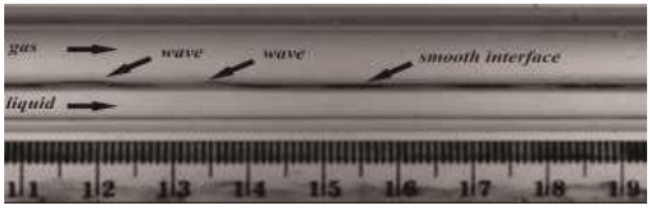
A. Karakteristik Pola Aliran

1. Visualisasi

Karakteristik pola aliran stratified menurut visualisasi high speed kamera sebagai berikut:

a. Pola Aliran *Stratified Smooth + Wavy*

Pola aliran *stratified smooth + wavy* merupakan pola aliran stratified dengan topologi *interface smooth* atau rata. Topologi *interface* menimbulkan perubahan dari *smooth* menjadi *wavy* yang terlihat beberapa kali pada data visual, tetapi topologi *smooth* tetap dominan. Pola aliran *stratified smooth+wavy* tersebut ditunjukkan pada t = 1,344 s Gambar 2.



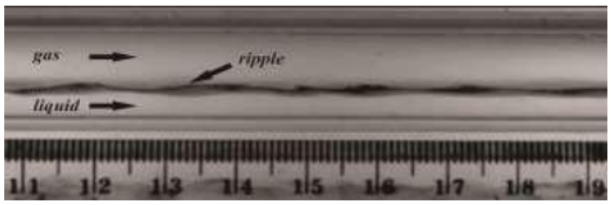
Gambar 2. Pola aliran *stratified smooth + wavy* pada t= 1,425 s pada VSL = 0,027 m/s dan VSG= 2,690 m/s

b. Pola Aliran *Stratified Wavy*

Pola aliran *stratified wavy* ini terbentuk karena penambahan kecepatan superfisial gas (VSG) seperti yang dinyatakan oleh Oyewole (2009:51) bahwa gas dengan rata-rata kecepatan tinggi menimbulkan gelombang pada interface dua fase dengan fase gas yang mencoba berakselerasi pada fase *liquid* dan sebaliknya. Pola aliran *stratified wavy* ini mempunyai topologi yang bergelombang pada interface. Pola aliran wavy sendiri secara visual dapat dibagi menjadi:

1) *Stratified Ripple*

Pola aliran ini terbentuk seiring bertambahnya kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG). Pada visualisasinya yang dapat dilihat pada Gambar 3 aliran ini merupakan aliran dengan topologi interface bergelombang-gelombang kecil dengan diikuti oleh gelombang panjang.



Gambar 3. Pola aliran *stratified ripple* pada waktu t = 0,395 s pada VSL = 0,040 m/s dan VSG= 5,246 m/

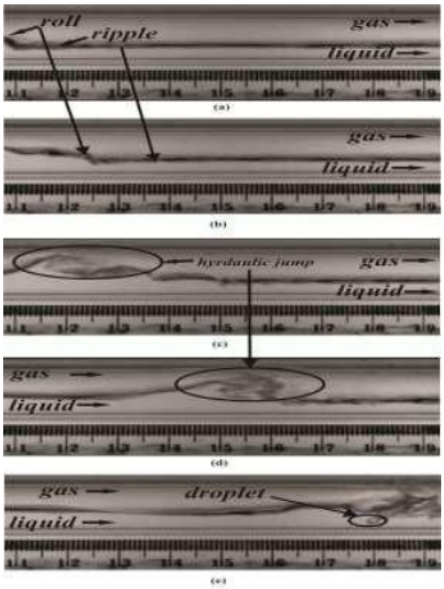
2) Stratified Roll

Pola aliran stratified roll terbentuk ketika kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) yang bersesuaian dengan visualisasi aliran berbentuk aliran yang bergulung-gulung seperti pada Gambar 4 pola aliran *stratified wavy roll* ini terbentuk sebelum terjadinya *hydraulic jump*.

Gambar 4. Pola aliran *stratified roll* pada waktu t= 0,9 s, VSL= 0,050 m/s dan VSG= = 4,140 m/s

c. Pola aliran *Pseudo-Slug*

Pola aliran *Pseudo-Slug* merupakan pola aliran yang terjadi seiring dengan bertambahnya kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG). Kecepatan superfisial liquid (VSL) yang bertambah menyebabkan *liquid* volume nya akan bertambah, kemudian volume *liquid* yang bertambah didorong oleh kecepatan superfisial gas (VSG) akan menyebabkan *hydraulic jump* yang oleh Hudaya (2013:55) menyebutnya sebagai pola aliran *Pseudo-Slug*. Visualisasi pola aliran *Pseudo-Slug* dapat diamati pada Gambar 5.



Gambar 5. Pola Aliran P*sudeo-slug* Pada VSL = 0,076 m/s dan VSG= 5,246 m/s (a) *psudeo-slug* pada 0,79 s, (b) psudeo-slug pada 0,81 s, (c) psudeo-slug pada 0,86 s, (d) *psudeo-slug* pada 0,89 s, (e) *psudeo-slug* pada 0,92 s

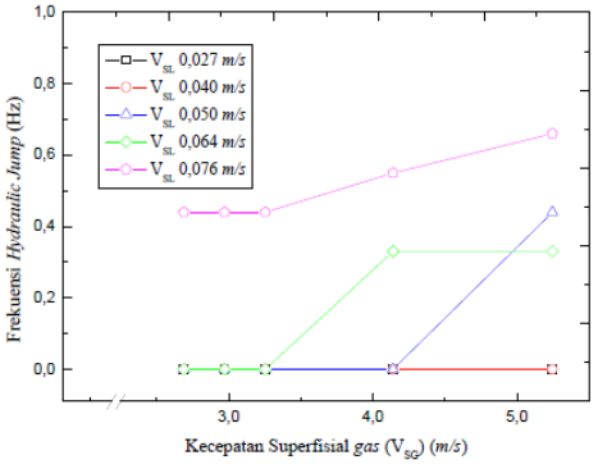
Berdasarkan Gambar 5, terbentuknya pola aliran psudeo-slug, Gambar (a) mula-mula aliran terbentuk pola *stratified wavy* kemudian mulai membentuk ripple dilanjutkan membentuk roll, Gambar (b) merupakan pola aliran roll mulai membesar, Gambar (c) menunjukkan adanya loncatan liquid yang menyentuh dinding bagian atas dalam pipa, Gambar (d) menunjukkan adanya dorongan kecepatan superfisial gas (VSG) yang mengakibatkan terjadinya *hydraulic jump,* dilanjutkan Gambar (e) yang merupakan akhir dari *hydraulic jump* yaitu terjadinya droplet yang diakibatkan *liquid* dari puncak setelah menyentuh bagian atas dalam pipa jatuh ke permukaan *liquid* dan menimbulkan gelembung kecil yang disebut droplet.

2. Frekuensi dan Kecepatan *Hydraulic Jump*

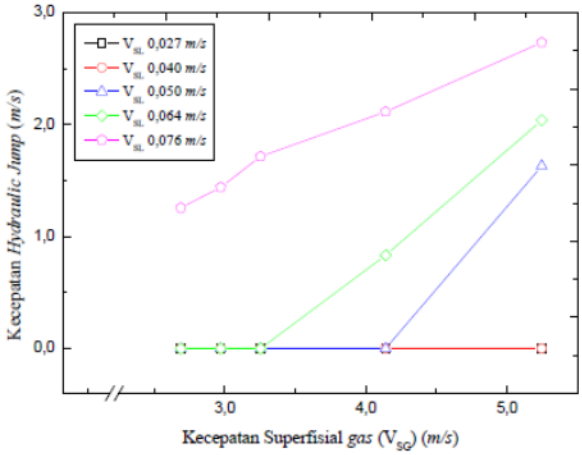
(a) Frekuensi *Hydraulic Jump*

Gambar 6 secara umum menunjukkan bahwa penambahan kecepatan superfisial liquid (VSG) pada kecepatan superfisial gas (VSG) yang sama menyebabkan jumlah *hydraulic jump* yang terjadi akan semakin meningkat dan penambahan kecepatan superfisial gas (VSG) pada kecepatan superfisial liquid (VSL) yang sama menyebabkan peningkatan frekuensi *hydraulic jump.*

Untuk kasus khusus pada awalnya konstan tidak terjadi *hydraulic jump* kemudian dengan peningkatan kecepatan superfisial gas (VSG) tertentu terjadi *hydraulic jump*. Hal ini disebabkan pada awal peningkatan kecepatan superfisial gas (VSG) pola aliran yang terjadi bukan merupakan pola aliran *pseudo-slug* dan tegangan geser belum memenuhi untuk membentuk *hydraulic jump*. Setelah tegangan geser memenuhi seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (VSG) maka terbentuklah *pseudo-slug* sehingga terjadi hydraulic jump. Sedangkan frekuensi hydraulic jump stabil dikarenakan peningkatan tegangan geser pada interface yang terjadi kurang mampu menimbulkan peningkatan frekuensi *hydraulic jump*.



Gambar 6. Grafik Frekuensi *Hydraulic Jump*



Gambar 7 Kecepatan *Hydraulic Jump*

(b) Kecepatan *Hydraulic Jump*

Gambar 7 menjelaskan pengaruh kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) terhadap kecepatan hydraulic jump. Secara umum menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan superfisial gas (VSG) sejalan dengan peningkatan kecepatan *hydraulic jump*. Selain itu, peningkatan kecepatan superfisial liquid (VSL) berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan *hydraulic jump.* Hal ini dikarenakan bertambahnya kecepatan superfisial gas (VSG) dan kecepatan superfisial liquid (VSL) menyebabkan tegangan geser bertambah.

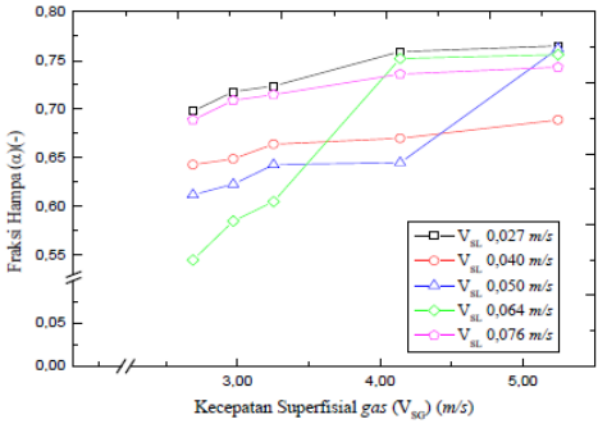
B. Parameter (Fraksi Hampa, Liquid Holdup dan Penurunan Tekanan) Pola Aliran Stratified.

1. Fraksi Hampa

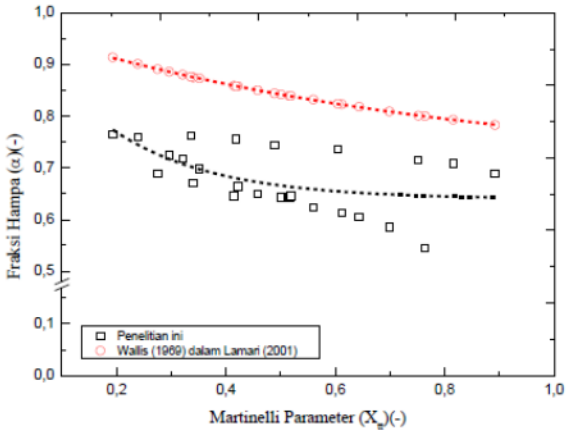
Berdasarkan Gambar 8 seiring bertambahnya kecepatan superfisial liquid (VSL) pada kecepatan superfisial gas (VSG) yang konstan dilihat bahwa fraksi hampa mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena luas penampang gas berkurang karena didesak oleh fase liquid. Khusus pada aliran pseudo-slug maka fase gas memiliki luas penampang yang lebih besar dikarenakan tegangan geser yang tinggi yang menekan fase liquid.

Berdasarkan Gambar 9 seiring bertambahnya parameter martinelli nilai fraksi hampa cendreung mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa fraksi hampa merupakan fungsi dari parameter Martinelli. Menurut persamaan, $\alpha = \frac{1}{(1+X_{tt}^{0,8})^{0,378}}$ artinya fraksi hampa berbanding terbalik dengan parameter Martinelli. Jika parameter Martinelli semakin besar maka fraksi hampa akan menurun dan sebaliknya. Nilai fraksi hampa yang dihasilkan oleh metode visualisasi tidak melebihi hasil teori empiris dari Wallis (1969)

dalam Lamari (2001:52) dan terjadi penyimpangan 26,3% yang diambil dari hasil perbandingan visualisasi dengan Wallis (1969) dalam Lamari (2001:52). Hal ini disebabkan dalam pengolahan menggunakan metode visualisasi, penentuan luas penampang gas diasumsikan simetris.

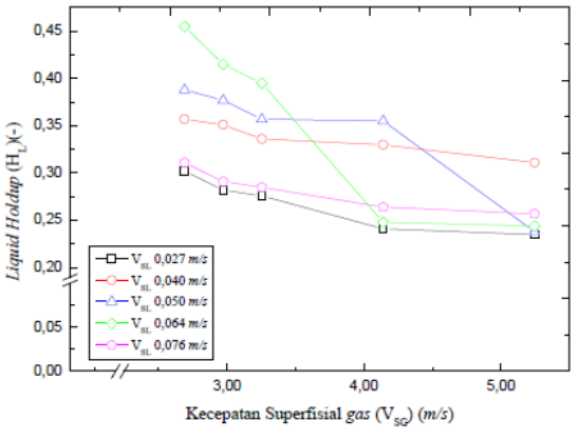


Gambar 8. Fraksi Hampa Pola Aliran *Stratified*

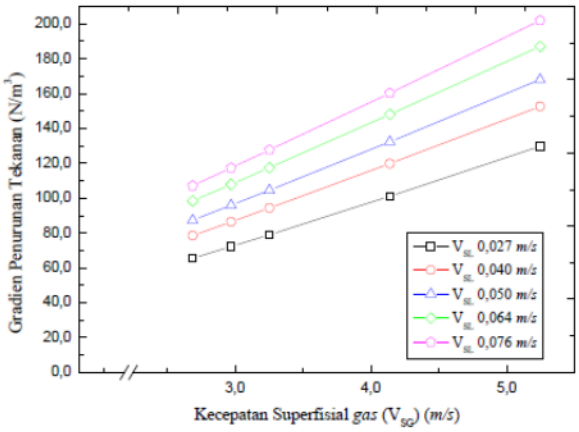


Gambar 9. Hubungan Fraksi Hampa dengan Martinelli Parameter

2. *Liquid Holdup*



Gambar 10. Liquid Holdup Aliran Stratified



Gambar 11. Gradien Tekanan Aliran Stratified

Gambar 10 menunjukkan bahwa secara umum seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (VSG) maka *liquid holdup* akan cenderung menurun. Dapat dikatakan bahwa seiring dengan penambahan kecepatan superfisial liquid (VSL) pada kecepatan superfisial gas (VSG) yang sama menyebabkan *liquid holdup* lebih tinggi.

3. Gradien penurunan tekanan

Gambar 11 menunjukkan bahwa gradien tekanan pada kecepatan superfisial liquid (VSL) yang sama dan meningkatnya kecepatan superfisial gas (VSG) mengakibatkan gradien tekanan meningkat. Pada kecepatan superfisial gas (VSG) yang sama dan kecepatan superfisial liquid (VSL) meningkat mempunyai nilai gradien tekanan yang lebih tinggi, artinya meningkatkan kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) mengakibatkan nilai gradien tekan meningkat.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penggunaan pipa berdiameter 19 mm, untuk menghindari hydraulic jump maka peningkatan maksimal kecepatan superfisial

liquid (VSL) adalah 0,064 m/s dan kecepatan superfisial gas (VSG) adalah 3,254 m/s, untuk peningkatan VSL =0,050 m/s maksimal peningkatan VSG = 4,140 m/s dengan detail sebagai berikut:

1. Perubahan kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) berpengaruh terhadap karakteristik pola aliran stratified. Pola aliran stratified yang diamati dikelompokan menjadi *stratified smooth + wavy, stratified wavy (ripple dan roll) dan pseudo-slug.* Pada kecepatan superfisial gas (VSG) yang konstan, dengan penambahan kecepatan superfisial liquid (VSL) frekuensi *hydraulic jump* meningkat. Sedangkan kecepatan *hydraulic jump* akan meningkat seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (VSG).
2. Perubahan kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSG) berpengaruh terhadap parameter pola aliran *stratified.* Nilai fraksi hampa pada kecepatan superfisial liquid (VSL) konstan meningkat seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (VSG), sedangkan *liquid* holdupnya berbanding terbalik. Jika kecepatan superfisial gas (VSG) di tambah maka nilai liquid holdup akan menurun. Gradien penurunan tekanan aliran stratified akan meningkat seiring bertambahnya kecepatan superfisial gas (VSG).

Saran

Diperlukan adanya pemilihan kecepatan superfisial liquid (VSL) dan kecepatan superfisial gas (VSL) yang optimal dalam pengaplikasian di dunia industri guna mengoptimalkan energi.

DAFTAR PUSTAKA

ALAdwani, F.A. 2003. Application of Mechanistic Models in Predicting Flow Behavior in Deviated Wells Under Ubd Conditions. *Thesis.* The Department of Petroleum Engineering Kuwait University. Kuwait.

Ayati, A.A. dkk. 2014. A PIV Investigation of Stratified Gas–Liquid Flow in A Horizontal. Pipe. *International Journal of Multiphase Flow.* 61: 129-143.

Hu, B., Dkk. 2014. Flow structure and phase distribution in stratified and slug flows measured by X-ray tomography. *International Journal of Multiphase Flow.* 67: 162-179.

Hudaya, A.Z., Indarto., Deendarlianto. 2013. Penentuan Sub-sub Daerah Aliran Stratified Udara-Air pada Pipa Horisontal Menggunakan Constant Electric Current Method (CECM). *Jurnal SIMETRIS.* 4: 1 Nopember.

Koestoer, R.A., Proborini, S. 1994. *Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis.* PT Pradnya Paramita. Jakarta Timur.

Monni, G., De Salve, M., Panella, B. 2014. *Horizontal Two-Phase Flow Pattern Recognition. Experimental Thermal and Fluid Science.* 59: 213-221.

Oyewole, A.L. 2009. Study of Flow Patterns and Void Fraction in Inclined Two Phase Flow. *Thesis.* University of Ilorin. Nigeria.

Rogero, E.C. 2009. Experimental Investigation of Developing Plug and Slug Flows. *Disertasi.* Universität München. Munchen.