

ALIRAN DUA FASA LIQUID – GAS PADA PIPA HORIZONTAL DIAMETER 46 mm

Arya Wulung dan Antariksa Pebriani

Jurusan Teknik Konversi Energi - Politeknik Negeri Bandung
e-mail: aryawulung@yahoo.com; goto_antariksa@yahoo.com

Abstrak

Boiler merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan air menjadi steam. Pada saat boiler bekerja akan terbentuk gelembung uap air yang terkadang terperangkap dalam boiler sehingga dapat mengurangi efisiensi suatu boiler. Dari contoh kasus tersebut maka dengan pemahaman aliran dua fasa akan didapatkan parameter kualitatif dalam perancangan berbagai aplikasi yang menggunakan sistem aliran dua fasa, baik untuk sistem adiabatik maupun sistem dengan perubahan fasa seperti pada boiler dan kondensor. Penelitian ini bertujuan membuat visualisasi gambar pola aliran pipa horizontal saat aliran dua fasa dalam pipa. Selanjutnya mendeskripsikan bentuk – bentuk gelembung yang ditemukan dalam aliran dengan metode eksperimen. Hasil visualisasi pola aliran dua fase pada kecepatan supervisial liquid (U_{SL}) dengan range yang sama U_{SL} 0.193m/s sampai 0.256 m/s untuk ke empat jenis aliran U_{SG} ; 0,88 m/s sampai 1,7 m/s membentuk pola aliran bubble, pada U_{SG} ; 1,7 m/s sampai 2,3 m/s membentuk pola aliran kantong, pada U_{SG} ; 6,7 m/s sampai 8,7 m/s membentuk pola aliran strata gelombang dan pada U_{SG} ; 3,2 m/s sampai 5,8 m/s membentuk pola aliran peluru. Namun dalam eksperimen tersebut tidak ditemukan aliran gelembung gelang seperti yang telah disebutkan Weisman.

Kata kunci : aliran, cair-gas, pola

PENDAHULUAN

Aliran dua fasa merupakan bagian dari aliran multifasa yang pengaplikasiannya sendiri banyak terdapat di industry, contoh pengaplikasiannya misal pada evaporator, boiler, *heat exchanger*, pipa pencairan gas, dan pipa – pipa pendistribusian lainnya.

Salah satu karakteristik yang paling mendasar dari aliran dua fasa adalah terjadinya *separation* pada aliran. Pola aliran yang terjadi ketika *separation* adalah *disperse*/terpecahnya gelembung dan *separated*/pemisahan gelembung. aliran *dispersed* dalam aliran dua fasa, seperti terdapatnya *bubble* dan terbentuknya kabut dalam pipa yang dimana keadaan tersebut tersebar disepanjang pipa dengan ukuran partikel yang kecil.

Dalam aliran turbulen yang terdiri dari air terdapat gelembung – gelembung yang terdispersi, gelembung yang terpecah – pecah, dan gelembung yang bersatu. Keadaan gelembung dalam sebuah aliran akan berlangsung secara terus – menerus selama terjadi proses aliran air. Aliran air yang berada dalam pipa yang panjang cenderung memiliki keadaan gelembung yang seimbang antara

keadaan gelembung yang terpecah dan gelembung yang bersatu. Gelembung berdiameter besar (d_{max}) memiliki kecenderungan untuk terpecah ketika proses aliran berlangsung, sedangkan gelembung berdiameter kecil (d_{min}) memiliki kecenderungan untuk bersatu dengan gelembung – gelembung lainnya.

Aliran dua fasa dalam pipa dengan permukaan horizontal memiliki karakteristik tersendiri, yakni ketika aliran fasa liquid mengalir dalam pipa akan terjadi kontak dengan fasa udara yang berada dalam pipa. Sehingga pada jarak dan tekanan udara tertentu akan terbentuk gelembung – gelembung udara dalam aliran. Perilaku aliran dua fasa tersebut akan mempengaruhi efisiensi suatu aliran fluida, terutama dalam industri karena apabila efisiensi baik maka biaya produksi akan dapat di efisienkan pula.

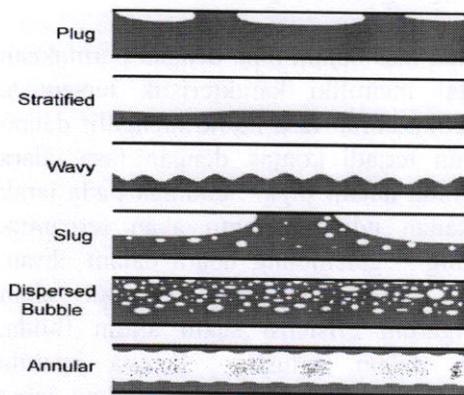
Faktor yang perlu diperhatikan dalam aliran multifasa, diantaranya :

- Arah Aliran
Perlu diperhatikan apakah aliran dalam pipa berlawanan arah (*counter current*) atau aliran searah (*cocurent*).
- Kedudukan Saluran Pipa

- Berbagai penelitian terus dikembangkan dengan membuat beberapa variasi kedudukan/posisi pipa, misalnya pipa spiral, horisontal, vertikal, dan pipa dengan kemiringan tertentu.
- Fasa – fasa Fluida
Aliran multifasa dibagi dalam beberapa fasa yakni aliran dua fasa hingga lebih dari dua fasa. Aliran dua fasa dibedakan dari jenis fluida yang menyertainya yaitu fasa cair – padat, cair – gas, dan gas – padat.

Beberapa peneliti telah meneliti pola aliran pada pipa horizontal diantaranya Hubbard and Dukler 1966, Wallis 1969, Weisman 1983 membuat semacam peta pola aliran berdasarkan kecepatan superficial yang dapat dijadikan acuan dalam sebuah industry untuk mengetahui kualitas aliran dalam pipa horizontal, dari peta dapat terlihat di daerah mana saja atau pada panjang pipa berapa akan terjadi bentuk – bentuk gelembung dalam pipa kemudian secara keseluruhan digambarkan dengan U_{SG} dan U_{SL} , dan hubungan tersebut ditujukan dalam memprediksi batas peralihan fasa.

Berikut ini merupakan bentuk – bentuk gelembung dari aliran dua fasa pada pipa horizontal;



Gambar 1 Pola aliran dalam pipa horizontal (Hewitt, 1982)

Aliran plug, dimana gelembung – gelembung gas kecil bergabung membentuk kantung gas pada jarak tertentu kemudian gelembung – gelembung gas kecil bersatu untuk menghasilkan *plug – plug* yang panjang.

Aliran stratified, dimana permukaan bidang sentuh cairan–gas sangat halus, tetapi pola aliran seperti ini biasanya tidak terjadi

Aliran wave, di mana amplitudo gelombang meningkat karena kenaikan kecepatan gas.

Aliran slug, dimana amplitudo gelombang biasanya besar hingga menyentuh bagian atas permukaan dalam pipa.

Aliran bubble dan dispersed bubble flow, dimana gelembung gas cenderung untuk mengalir pada bagian atas tube.

Aliran annular, sama dengan aliran *annular* pada tabung vertikal hanya *liquid film* lebih tebal didasar tabung dari pada bagian atas.

Setelah diperoleh data – data yang dibutuhkan selanjutnya akan digambarkan peta pola aliran fluida dua fasa yang mengalir dalam pipa horisontal, dengan batasan masalah sebagai berikut;

1. Fluida yang digunakan air dan udara.
2. Pembuatan peta pola aliran berdasarkan kecepatan superficial gas (U_{SG}) dan kecepatan superficial air (U_{SL}).
3. Perbandingan jumlah gas dan air dibuat sedemikian rupa sehingga terdapat beberapa variasi data
4. Kondisi katup air $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, \text{ dan } 75^\circ$.
5. Tidak ada *heat* dan *mass transfer* antara fasa.
6. Pengaruh *temperature* pada *viscosity fluids* akan diabaikan.
7. Pengaruh getaran diabaikan.

Perubahan aliran dua fasa, dapat dianalisis dari kecepatan superficial gas (U_{SG}) dan kecepatan liquid nya (U_{SL}), untuk menganalisisnya dibutuhkan *variable – variable* sebagai berikut.

Laju aliran massa total melalui tabung adalah jumlah dari massa tahap aliran dua fasa

$$\dot{m} = \dot{m}_G + \dot{m}_L \dots \dots \dots (1)$$

Cross section area keseluruhan, didapat dengan menjumlahkan *cross section* gas dan *cross section* liquid.

$$A = A_G + A_L \dots \dots \dots (2)$$

Dimana ;

A = Luas area total (m^2)

A_G = Luas area fasa gas (m^2)

bersirkulasi.

6. Pipa acrylic spiral dengan diameter luar 50 mm, diameter dalam 46 mm sepanjang 2000 mm yang digunakan sebagai pipa pengujian.
7. Kamera digital digunakan untuk mengabadikan dan memvisualisasikan aliran air dan udara (campur) yang bersirkulasi.

Dimensi pipa acrylic horizontal memiliki diameter luar pipa (OD) = 50 mm, tebal pipa (t) = 4 mm, diameter dalam (Di) = 46 mm, dan panjang pipa horizontal (P) = 2000 mm.

Jalannya penelitian adalah sebagai berikut: air dialirkan dengan menggunakan sebuah pompa sirkulasi melewati katup pengatur. Udara bertekanan dari kompresor dialirkan melewati *airflow* dari 0,02-0,13 m/s, sehingga udara masuk melalui pipa dan terjadi *bubble* dalam aliran air yang bersirkulasi dalam pipa horizontal. Temperature air yang dialirkan sebesar 24°C.

Data-data hasil pengujian dihitung dengan Rumus perhitungan debit, kecepatan dan massa jenis air untuk aliran satu fasa (air tanpa injeksi udara). Sedangkan untuk aliran yang terdiri dari campuran air-udara, dihitung dengan

Persamaan 1 sampai 11. Hasil perhitungan diplot pada grafik, yang merupakan hasil perhitungan bilangan Reynolds (Re), kecepatan massa aliran (G), kecepatan superficial air (U_{SL}) yang bervariasi dan kecepatan superficial udara (U_{SG}) yang konstan.

Selanjutnya pengambilan data gambar dilakukan dengan kamera digital dan *handycam*. Hal ini dilakukan untuk memvisualisasikan tampilan aliran air dengan penambahan aliran udara. Hasil visualisasi tersebut, diproyeksikan untuk mengetahui posisi gelembung udara.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil *experiment* didapatkan data – data yang digunakan untuk menentukan besar kecepatan superficial liquid (U_{SL}) dan kecepatan superficial gas (U_{SG}), sebagai berikut ;

Tabel 1. Kecepatan superficial liquid (U_{SL})

Buka Katup	Q L/m	T _{air}	RE	m _{ai} r kg/s	G _L kg/m ² s	U _{sl} m/s
0°	43	24.6	12973.1	0.42	255.1	0.256
15°	38	24.5	11663.5	0.38	229.9	0.231
30°	37	24.4	11332.2	0.37	223.9	0.225
45°	36	24.3	10972.2	0.36	217.3	0.218
60°	35	23.8	10425.6	0.35	208.9	0.21
75°	32	23.4	9528.35	0.32	192.7	0.193

Setelah didapatkan nilai kecepatan superficial liquid selanjutnya menentukan besar kecepatan superficial gas dengan mengamati pola aliran yang terjadi di pipa horizontal.

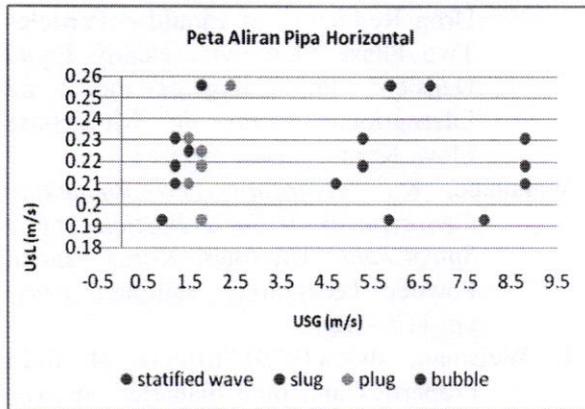
Tabel 2. Kecepatan superficial gas (U_{SG})

No	U _{SL} (m/s)	U _{SG} (m/s)			
		Stratified wave	Slug	Plug	Bubble
1	0.256	6.734	5.855	2.39	1.757
2	0.231	8.783	5.27	1.464	1.171
3	0.225	4.684	3.22	1.757	1.464
4	0.218	8.783	5.27	1.757	1.171
5	0.21	8.783	4.684	1.464	1.171
6	0.193	7.905	5.822	1.757	0.878

Peta pola aliran menggambarkan daerah terjadinya gelembung – gelembung dalam pipa horizontal, dilihat dari data – data yang telah didapat maka besarnya kecepatan superficial liquid (U_{SL}) menentukan besarnya kecepatan superficial gas (U_{SG}). Semakin besar kecepatan superficial liquid (U_{SL}) maka debit udara yang dimasukan dalam pipa semakin tinggi dan akan mempengaruhi besarnya kecepatan superficial gas (U_{SG}) hal tersebut bertujuan supaya terjadi berbagai macam bentuk gelembung dalam pipa

Berikut ini merupakan peta pola aliran horizontal yang telah didapatkan dari hasil pengujian, akan terlihat batas – batas daerah

untuk tiap perubahan bentuk gelembung dua fasanya



Gambar 3. Peta Pola Aliran Pipa Horizontal

Ditemukan empat jenis aliran gelembung yang terlihat dari daerah kecepatan superficial gas dan liquid pada peta, sebagai berikut

- Daerah *bubble* dapat terlihat pada range U_{SL} 0.193m/s sampai 0.256 m/s, dengan range U_{SG} nya 0,88 m/s sampai 1,7 m/s. Bentuk *bubble* yang didapat tidak mengalami penyebaran gelembung – gelembung kecil disepanjang permukaan pipa, bentuk bubble cenderung terpisah – pisah antara bubble yang satu dengan yang lainnya.



Gambar 4. Gelembung bubble

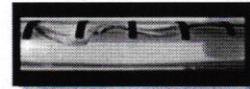
- Daerah *plug* dapat terlihat pada range U_{SL} 0.193m/s sampai 0.256 m/s, dengan range U_{SG} nya 1,7 m/s sampai 2,3 m/s. Bentuk *plug* yang didapat cenderung terpisah – pisah, ketika diamati *plug* akan bersatu dengan *bubble* yang terkadang muncul bersamaan dalam aliran pada jarak tertentu sehingga gelembung *plug* menjadi lebih panjang pada bagian ujung pipa



Gambar 5. Gelembung plug

- Daerah *slug* dapat terlihat pada range U_{SL} 0.193m/s sampai 0.256 m/s, dengan range U_{SG} nya 3,2 m/s sampai

5,8 m/s. Bentuk *slug* tiga kali panjang *plug*, antara *slug* yang satu dengan yang lainnya berjarak dekat sehingga pada ujung pipa horizontal *slug* menggabungkan diri dengan gelembung *slug* selanjutnya.



Gambar 6. Gelembung slug

- Daerah *stratified wave* dapat terlihat pada range U_{SL} 0.193m/s sampai 0.256 m/s, dengan range U_{SG} nya 6,7 m/s sampai 8,7 m/s. Bentuk *stratified wave* berombak ombak dengan fasa cair berada di permukaan bawah pipa horizontal, sedangkan fasa udara berada di bagian atas pipa.



Gambar 7. Gelembung stratified wave

KESIMPULAN

Pola aliran dua fasa pipa horizontal menggambarkan karakteristik aliran dua fasa dengan cara mengamati batas daerah terjadinya gelembung berdasarkan kecepatan superficial liquid (U_{SL}) dan kecepatan superficial gas (U_{SG}), setelah dilakukan *experiment* dan analisa data maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut;

1. Didapatkan visualisasi hasil penelitian yang digambarkan dalam peta pola aliran terlihat batas daerah gelembung *stratified*, *slug*, *plug*, dan *bubble* berdasarkan U_{SL} dan U_{SG} .
2. Tidak ditemukan jenis aliran gelembung *annular* seperti yang dijelaskan dalam literature, dikarenakan tekanan udara yang diberikan kurang mencukupi untuk mendapat gelembung tersebut.
3. Dengan range U_{SL} yang sama untuk keempat yakni 0,193 m/s sampai 0,256 m/s maka pola aliran yang didapat sebagai berikut:
 - U_{SG} ; 1,7 m/s sampai 2,3 m/s didapat aliran gelembung *plug*
 - U_{SG} ; 3,2 m/s sampai 5,8 m/s didapat aliran gelembung *slug*

- U_{SG} ; 0,88 m/s sampai 1,7 m/s didapat aliran gelembung stratified wive

4. Semakin kecil nilai U_{SG} , sebaliknya tekanan udara yang diberikan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

Ghanjar, A. J. 2005. *Non – Boiling Heat Transfer in Gas – Liquid Flow in Pipes – a Tutorial*, vol XXVI, no. 1.

Wijayanti, Yureana. 2008. Pengaruh Debit Terhadap Dinamika Gelembung Udara Dalam Kolom Aerator, Pebruari vol.8, no.2, pp : 133 – 147

M.M. Razzaque et al. (2003), “ Bubble size in coalecence dominant regime of Turbulent Air - Water Flow Through Horizontal Pipes,”International Journal

of Multiphase Flow , vol. 29 ,pp.1451– 1471.

Monji, H., Matsui, G. and Saito, T., “Pressure Drop Reduction of Liquid – Particles Two–Phase Flow with Nearly Equal Density”, Proceeding of the 2 nd International Conf. on Multiphase Flow, Kyoto, Japan, 1995.

Watanabe, K., “*Hydraulic and Pneumatic Conveyances of Solid Particles by a Spiral Tube*” The fourth Korea – Japan Powder Technology Seminar, 1991, pp. 117 – 124.

J. Weisman, dkk.,(1979).”Effects of fluid properties and pipe diameter on two-phase flow patterns in horizontal lines.”International Journal Of Multiphase Flow, vol V, pp 437 – 462.