

## KAJI EKSPERIMEN KECEPATAN POLA ALIRAN SLUG AIR-UDARA PADA ALIRAN DUA FASE SEARAH PIPA HORIZONTAL MENGGUNAKAN *HIGH SPEED VIDEO CAMERA*

Budi Santoso<sup>1,4</sup>, Fithroh D. R.<sup>2</sup>, Indarto<sup>2</sup>, Deendarlianto<sup>2</sup>, Thomas S. W.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

### Keywords:

*Two phase flow, Horizontal pipe, Air-water, Slug flow, High-speed video camera, Visualisation*

### Abstract:

*The purpose of this study was to examine velocity of the slug flow pattern of air-water. The method used is the visualization of flow patterns using high-speed video camera. The study was conducted on the water superficial velocity 0.139 m/s - 1.952 m/s and the air superficial velocity 1.043 m/s - 3.652 m/s on a horizontal pipe with a diameter of 24 mm pipe. Increase in superficial gas velocity causes the aeration mechanism (gas-phase entry in the form of small bubbles into the liquid phase) to produce slug flow. Constant value  $C_0$  in equation Nicklin (1962) obtained in this study correspond to the value proposed by Bendiksen (1984) for  $Fr > 3.5$ .*

### PENDAHULUAN

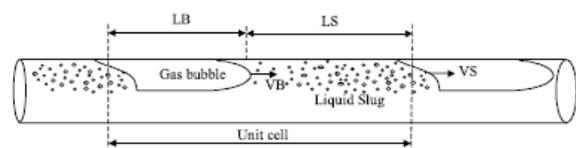
Aliran dua fase ini banyak dijumpai baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri, seperti pada ketel uap, kondensor, alat penukar panas, reaktor nuklir, pencairan gas alam, pipa saluran dan lain-lain. Dalam aliran dua fase pengetahuan tentang pola aliran sangat penting, karena hal ini menentukan bagaimana model analisis atau korelasi yang akan digunakan dalam meramalkan perilaku aliran fluida. Pola aliran tertentu akan diperoleh efisiensi produksi yang lebih dari pola aliran lain, dapat berbahaya, dan sebagai pertimbangan dalam perencanaan fasilitas aliran dua fase yang berkaitan dengan penurunan tekanan. Studi tentang aliran dua fase dapat diperhatikan atas beberapa parameter, yaitu wujud fase, arah aliran dan kedudukan saluran. Beberapa teknik yang telah direkomendasikan untuk identifikasi pola aliran dibagi dalam tiga kategori:

1. Metode analitis (*Analytical methods*).
2. Metode Visualisasi (*Visualization methods*): metode fotografi, radiografi sinar X dan *multibeam gamma densitometry*.
3. Metode yang tergantung pada pengukuran dari banyaknya fluktuasi dan karakteristik statistik dalam parameter pola aliran.

Marruaz dkk.(2001) menyatakan bahwa pengetahuan tentang karakteristik aliran *slug* seperti frekuensi, kecepatan *unit cell*, panjang

gelembung, dan panjang *liquid slug* sangat penting dalam menentukan ukuran jaringan perpipaan dan desain *receiving vessel* serta peralatan *pre-processing*. Sebagai contoh, kecepatan *unit cell* menentukan laju aliran sesaat gas dan cairan yang masuk pada *receiving vessel*; panjang *liquid slug* mempunyai korelasi yang kuat dengan penurunan tekanan.

Dalam analisa pola aliran *slug*, struktur aliran sering dinyatakan dalam "*unit cell*". Rosa (2004) menyatakan bahwa konsep ini pertama kali diusulkan oleh Dukler dan Hubbard (1975). Dalam konsep ini struktur aliran *slug* dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu *liquid slug* dan *elongated gas bubble*. *Liquid slug* merupakan bagian yang terdiri dari fase cair dengan kemungkinan adanya gelembung gas sedangkan *elongated gas bubble* adalah gelembung panjang yang mengalir di atas lapisan film cairan. Gambar sebuah *unit cell* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematis dari sistem *slug* dengan kantong udara, *liquid slug*, dan *total slug unit* (Rosa, 2004).

Pengukuran *bubble velocity* yang dilakukan pada penelitian ini adalah untuk menentukan nilai

$C_0$  dan  $V_\infty$  pada persamaan *bubble nose velocity* yang diajukan oleh Nicklin dkk (1962) berikut ini:

$$VB = C_0 \cdot J + V_\infty \quad (1)$$

Bendiksen (1984) menyatakan bahwa untuk aliran horizontal nilai  $C_0$  dan  $V_\infty$  adalah sebagai berikut :

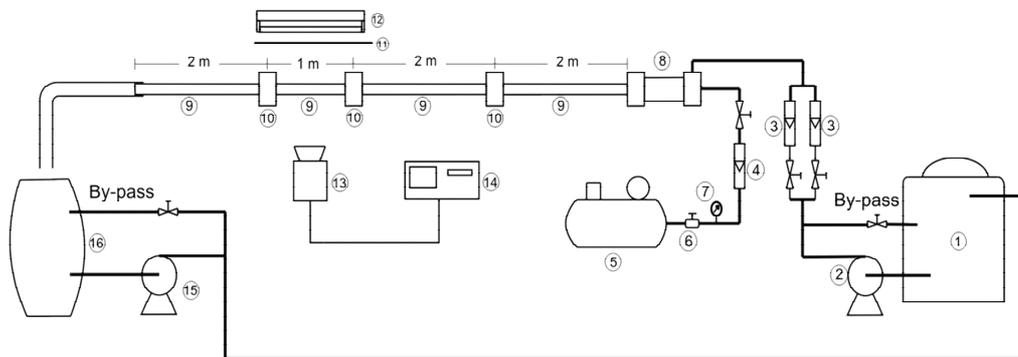
$$C_0 = 1,0 \text{ dan } V_\infty = 0,54 \text{ jika } Fr < 3,5$$

$$C_0 = 1,2 \text{ dan } V_\infty = 0,00 \text{ jika } Fr \geq 3,5$$

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pola aliran slug air-udara beserta kecepatan gelembung. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode visualisasi pengamatan pola aliran menggunakan peralatan *high-speed video camera*.

## BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Susunan peralatan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 2. Udara sebagai fase gas pada aliran dua fase disuplai dari kompresor dengan daya 0,75 kW 3Ø; debit maksimum 75 l/min; tekanan maksimum 5,5 kg/cm<sup>2</sup>; dan putaran engkol 1000 rpm. Aliran udara diatur dengan regulator dan besarnya diukur oleh *flowmeter* udara. Sebelum masuk ke *mixer* udara melalui katup bola yang berfungsi mencegah aliran air masuk ke *flowmeter* udara. Aliran udara pada eksperimen ini adalah menggunakan siklus terbuka, artinya setelah melalui seksi uji, udara akan dibuang kembali ke atmosfer.



## KETERANGAN

- |                    |                           |                            |                   |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| 1. Tangki inlet    | 6. Regulator aliran udara | 11. Layar                  | 16. Tangki outlet |
| 2. Pompa utama     | 7. Manometer              | 12. Lampu TL               | ⊗ Katup Bola      |
| 3. Rotameter air   | 8. Mixer                  | 13. High-speed camera      |                   |
| 4. Rotameter udara | 9. Pipa acrylic           | 14. Camera processor (DRP) |                   |
| 5. Kompresor       | 10. Flens sambungan       | 15. Pompa sirkulasi        |                   |

Gambar 2. Susunan peralatan eksperimen

Air sebagai fase cair pada aliran dua fase disuplai dengan pompa yang mempunyai data teknis total head 16 m, kapasitas 3,6-17 m<sup>3</sup>/jam, diameter isap dan tekan 1,5", putaran motor 2.970 rpm, 1 fase dan daya output 1,05 kW. Air dipompa dari tangki input dan diatur laju alirannya menggunakan sistem *by-pass* dan kemudian laju aliran tersebut diukur dengan *flowmeter* air sebelum masuk ke *mixer*. Setelah melalui *mixer* air dan udara akan membentuk aliran dua-fase di dalam pipa seksi uji. Setelah melalui seksi uji air akan ditampung dalam tangki output untuk selanjutnya dipompa kembali ke tangki input sehingga membentuk siklus tertutup.

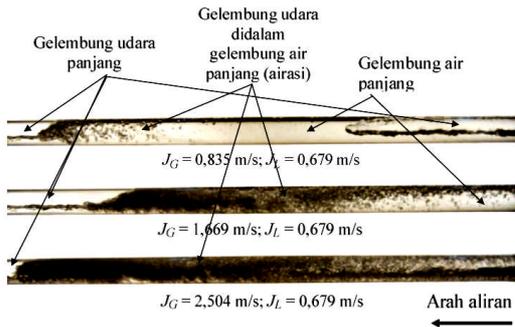
Data yang diambil berupa video yang dihasilkan oleh *high-speed video camera* dengan tipe MEMRECAM C<sup>3</sup>. Pada saat pengambilan

gambar, hal yang sangat perlu diperhatikan adalah sistem pencahayaan (*lighting*). Sistem pencahayaan akan sangat menentukan baik atau buruk gambar yang dihasilkan. Data berupa video kemudian diolah menggunakan *software* PHANTOM 630 untuk menghasilkan data parameter dalam *slug* seperti panjang *slug*, kecepatan *slug*, dan kecepatan *slug*. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah debit air dan debit udara.

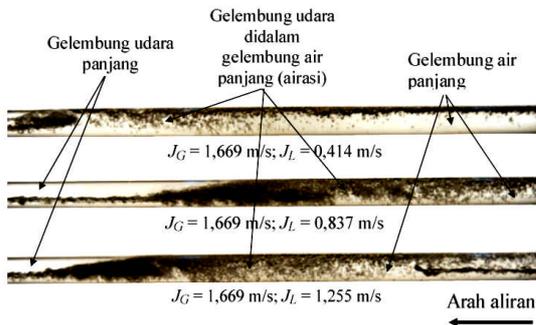
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola aliran slug yang diamati ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Pola aliran slug mempunyai ciri khusus dimana aerasi terjadi pada seluruh bagian likuid slug. Selain itu, batas antara kantong dan liquid slug tidak halus.

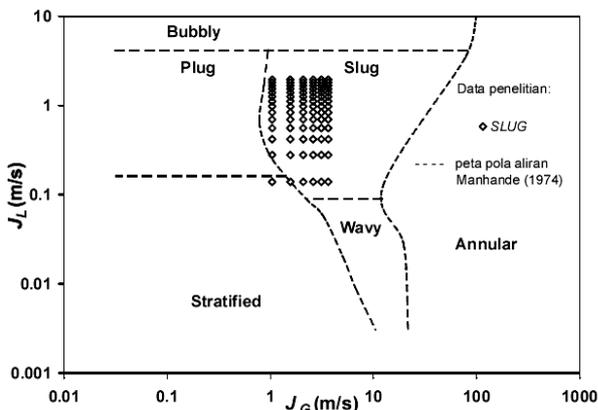
Kemudian, data pola aliran slug yang didapat dibandingkan dengan peta pola aliran Mandhane dkk. (1974) seperti ditunjukkan Gambar 5. Gambar 5. mengindikasikan bahwa data pola aliran slug yang didapat adalah sesuai dengan hasil penelitian Mandhane dkk. (1974). Pengamatan visualisasi aliran sebagai fungsi kecepatan superfisial fluida ditunjukkan pada Gambar 5 dilakukan pada rentang kecepatan superfisial udara:  $J_G = 1.043-3.652$  m/s dan rentang kecepatan superfisial air:  $J_L = 0.139-3.952$  m/s.



Gambar 3. Tipe pola aliran slug hasil observasi penelitian pada kecepatan superfisial air tetap



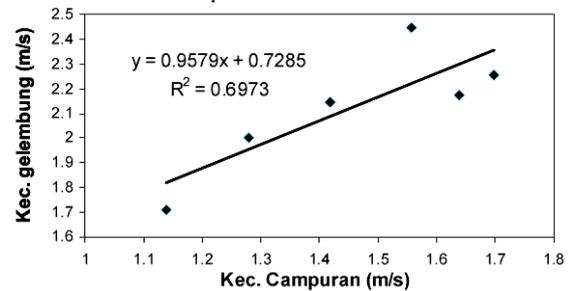
Gambar 4. Tipe pola aliran slug hasil observasi penelitian pada kecepatan superfisial udara tetap



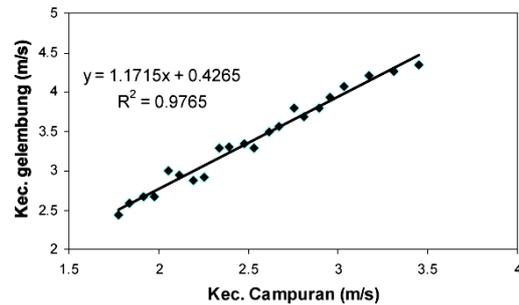
Gambar 5. Peta pola aliran

Tujuan dibuatnya grafik kecepatan gelembung terhadap kecepatan campuran adalah untuk mendapatkan nilai  $C_0$  dan  $V_\infty$  pada persamaan

Nicklin dkk (1962) seperti telah dijelaskan pada tinjauan pustaka. Data yang digunakan pada grafik kecepatan gelembung terhadap kecepatan superfisial campuran merupakan data dengan kecepatan superfisial 1,02 m/s dan 1,56 m/s, sedangkan untuk kecepatan di atas 1,56 m/s tidak dilakukan pengukuran kecepatan gelembung karena batas antara gelembung dengan cairan tidak jelas terlihat. Data kemudian diklasifikasikan dalam 2 kelompok yaitu untuk nilai  $Fr < 3,5$  dan untuk nilai  $Fr > 3,5$ . Hal ini mengacu pada nilai  $C_0$  dan  $V_\infty$  yang diajukan Bendiksen (1984) yang menggunakan nilai  $Fr$  untuk menentukan nilai  $C_0$  dan  $V_\infty$ .



Gambar 6. Grafik kecepatan gelembung terhadap kecepatan superfisial campuran untuk  $Fr < 3,5$



Gambar 7. Grafik kecepatan gelembung terhadap kecepatan superfisial campuran untuk  $Fr > 3,5$

Pada grafik kecepatan gelembung terhadap kecepatan campuran untuk  $Fr < 3,5$  (Gambar 6) didapatkan nilai  $C_0$  sebesar 0,9579,  $V_\infty$  sebesar 0,7285 dan nilai  $R^2$  sebesar 0,6973. Apabila dibandingkan dengan nilai yang dikemukakan oleh Bendiksen (1984) memang terdapat penyimpangan. Regresi yang dilakukan juga kurang baik terbukti dengan nilai  $R^2$  kurang dari 0,9.

Untuk nilai  $Fr > 3,5$  dapat dilihat pada Gambar 7. Dari hasil regresi linier seperti pada grafik sebelumnya ternyata didapatkan nilai  $C_0$  sebesar 1,1715,  $V_\infty$  sebesar 0,4265 dan  $R^2$  sebesar 0,9765. Hasil yang didapatkan ini lebih baik daripada hasil yang didapatkan untuk nilai  $Fr < 3,5$ . Nilai  $C_0$  yang didapatkan sangat mendekati dengan nilai yang diajukan oleh Bendiksen (1984) yaitu sebesar 1,2. Untuk nilai  $V_\infty$  terdapat penyimpangan yang cukup besar dengan nilai yang diajukan oleh

Bendiksen (1984). Regresi linier yang dilakukan pada grafik tersebut ternyata lebih baik dari grafik sebelumnya, terbukti dari nilai  $R^2$  lebih dari 0,9.

### KESIMPULAN

Pola aliran slug dapat diamati secara visualisasi dengan jelas. Kecepatan gelembung dapat diukur dengan cara visualisasi. Pada  $Fr < 3,5$  didapatkan nilai  $C_0$  sebesar 0,9579,  $V_\infty$  sebesar 0,7285 dan nilai  $R^2$  sebesar 0,6973. Untuk nilai  $Fr > 3,5$  didapatkan nilai  $C_0$  sebesar 1,1715,  $V_\infty$  sebesar 0,4265 dan  $R^2$  sebesar 0,9765. Nilai  $C_0$  yang didapatkan sangat mendekati dengan nilai yang diajukan oleh Bendiksen (1984).

### Daftar Notasi

- $C_0$  = konstanta  
 $d$  = diameter dalam pipa (m)  
 $g$  = konstanta gravitasi ( $m/s^2$ )  
 $J$  = kecepatan superfisial campuran (*mixture velocity*), (m/s)  
 $J_l$  = kecepatan superfisial cairan, (m/s)  
 $J_g$  = kecepatan superfisial cairan, (m/s)  
 $VB$  = kecepatan ujung depan gelembung (*bubble nose velocity*), (m/s)  
 $V_\infty$  = konstanta  
 $Fr$  = Froude Number =  $\frac{J}{\sqrt{gd}}$

### DAFTAR PUSTAKA

- Andreussi, P. and Bendiksen, K., 1989, "An investigation of void fraction in liquid slugs for horizontal and inclined gas-liquid pipe flow", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 15, pp. 937-946.
- Barnea, D. and Brauner, N., 1985, "Holdup of the liquid flow in two-phase intermittent flow", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 11, pp. 43-49.
- Barnea, D. and Taitel, Y., 1993, "A model for length distribution in gas-liquid flow", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 19, pp. 829-837.
- Bendiksen, K.H., 1984, "An Experimental Investigation of the Motion of Long Bubbles in Inclined Tubes", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 10, n.4, pp. 467-483.
- Dukler, E. and Hubbard, M.G., 1975, "A model for gas-liquid slug flow in horizontal and near horizontal tubes", *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, Vol. 14, n.4, pp.377-347
- Fithroh D. R., 2009, "Kaji Eksperimen Pola Aliran Plug Dan Slug Air-Udara Pada Pipa Mendatar Menggunakan *high speed video-camera*", *Skripsi Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.
- Lamari, M.L., 2001, "An Experimental Investigation of Two-Phase (Air-Water) Flow Regimes In a Horizontal Tube at Near Atmospheric Condition", *Disertation, Department of Mechanical and Aerospace Engineering Carleton University, Ontario Canada*.
- Marruaz, Keyla S., Gonçalves, Marcelo A. L., Gaspari, Eduardo, Ribeiro, Geraldo S., França, Fernando A., Rosa, Eugênio S., 2001, "Horizontal Slug Flow in a Large-Size Pipeline: Experimentation and Modeling", *J. Braz. Soc. Mech. Sci.*, vol.23, no.4, Rio de Janeiro
- Nicklin, D.J., Wilkes, J. and Davidson, J.F., 1962, "Two-phase Flow in Vertical Tubs", *Trans. Inst. Chem. Engng*, Vol.40, pp61-68.
- Rosa, E.S., 2004, *Flow Structure In The Horizontal Slug Flow*, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecanica Departamento de Energia, Campinas Brasil.
- Speeding dan Spence, 1993, Flow regimes in two-phase gas-liquid flow, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 19, No. 2, pp. 245-280
- Wallis, G.B., *One Dimensional Two Phase Flow*, Mc. Graw Hill Company, New York.