ISBN 978-979-3541-25-9

Fluktuasi Beda Tekanan Aliran Plug Gas – Likuid pada Pipa Horisontal

Budi Santoso[1,4], Indarto[2], Deendarlianto[2], Thomas S. W.[3]
[1]Program Pascasarjana Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, UGM
[2]Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, UGM
[3]Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UGM
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281
[4]Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNS
Jl. Sutarmi 36A Surakarta 57126
E-mail: msbudis@yahoo.co.id; budisant@mail.uns.ac.id

Abstrak

Berbagai teori statistik dan chaos diterapkan dalam paper ini untuk menganalisis aliran plug. Percobaan dilakukan dengan mengalirkan udara-air dalam pipa horisontal yang berdiameter dalam 24 mm. Beda tekanan diukur dengan menggunakan differential pressure transducer (DPT) dan menghasilkan data time series yang random. Teori-teori analisis yang digunakan meliputi mean, standar deviasi, skewness, kurtosis, probability density function (PDF), autocorrelation, power spectral density (PSD). Analisis statistik memperlihatkan fenomena fisik dengan harga mean, standar deviasi, skewness, kurtosis dan PDF yang berubah secara linier terhadap kecepatan superfisial. Sedangkan analisis autocorrelation dan PSD menunjukkan kemampuan yang baik untuk membedakan fluktuasi beda tekanan yang random pada berbagai aliran plug.

Kata kunci: *aliran plug, beda tekanan, probability density function, autocorrelation, power spectral density*

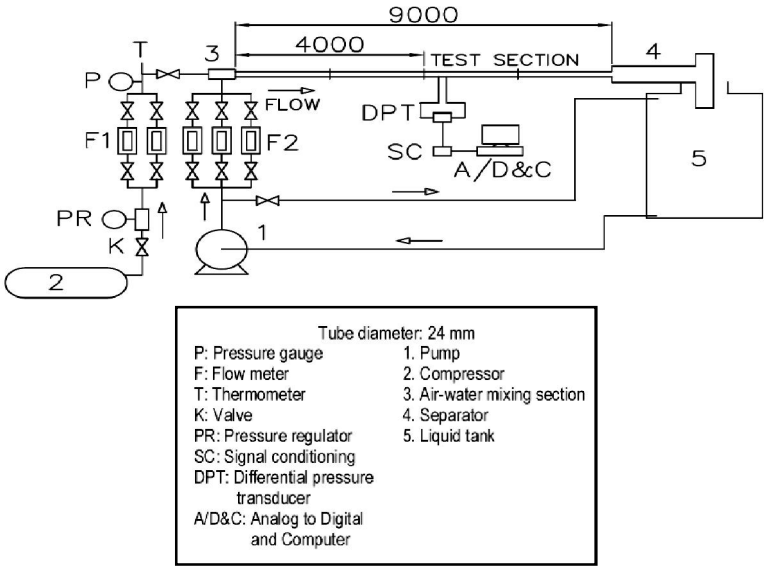
1. PENDAHULUAN

Studi tentang aliran dua fase mempunyai hubungan yang kuat dengan beberapa aplikasi teknologi. Sebagai contoh, aliran dua fase gas-likuid selalu digunakan dalam aplikasi industri, seperti kondensor, evaporator, tower distilasi, pembangkit tenaga nuklir, transportasi minyak mentah dan industri kimia. Aliran gas-likuid tidak hanya dijumpai pada aliran dua fase. Aliran gas-likuid adalah komplek karena aliran gas-likuid menggabungkan batas deformasi dengan fase kompresibel. Transportasi gas dan likuid memberikan beberapa konfigurasi topologi yang disebut pola aliran. (Regero, 2010).

Pada umumnya, pola aliran gas-likuid intermiten yang diteliti pada pipa horizontal dibagi dalam dua sub pola yaitu aliran slug dan aliran plug. Kebanyakan studi dilakukan untuk aliran slug karena karakteristik aliran plug tidak terdefinisi dengan baik. Aliran plug atau aliran gelembung panjang terjadi pada kecepatan gas yang sangat rendah dan mengandung gelembung gas panjang yang bergerak pada bagian atas sepanjang pipa. Aliran plug mempunyai ciri khusus pada fase gas yang mempunyai bentuk kantung gas dengan batas antara gas dan likuid yang jelas. Dua kuantitatif sinyal yang biasa digunakan untuk menentukan pola aliran adalah fluktuasi tekanan local dan fluktuasi fraksi hampa. Sebagai contoh yang pernah dilakukan oleh Jones dan Zuber (1975), Matsui (1984) and Tutu (1982). Sinyal rangkaian waktu dianalisa secara statistik untuk mendapatkan informasi yang diinginkan. Tipe perhitungan statistik yang digunakan adalah harga mean, standard deviation (SD), coefficient of skewness (CoS), power spectral density (PSD) dari sinyal tekanan dan probability density function (PDF) sinyal fraksi hampa.

Motivasi untuk identifikasi pola aliran dua fase yang telah dibuat sebelumnya menggunakan metode yang didasarkan respon sensor obyektif. Weisman dkk. (1979), Matsui (1986), Lin and Hanratty (1986), Spedding dan Spence (1993) menemukan bahwa karakteristik statistik (power spectral density, probability density function, auto

dan cross-correlation functions) dari fluktuasi tekanan adalah cocok digunakan untuk klasifikasi pola aliran. Selain itu sensor tekanan adalah kuat, murah dan relatif dikembangkan serta sangat disukai untuk dipakai di sistem industri.
Karakteristik sinyal tekanan diferensial juga digunakan sebagai pembeda pola aliran multiphase (Franca dkk. (1991), Matsui (1986), Lin dan Hanratty (1986), Spedding dan Spence (1993), Wu (2001), Xie dkk. (2004), Wilkens (2008), Sun (2008) dan Zhou dkk. (2003)) yang difokuskan pada parameter karakteristik fluktuasi.



Gambar 1. Peralatan Penelitian

Penelitian ini memperlihatkan bagaimana analisis statistik dari kuantatif yang dapat memberikan interprestasi fisik. Dalam artikel ini, sinyal direkam dengan sensor tekanan diferensial pada aliran plug dalam pipa horizontal. lokal yang menyediakan alat handal untuk identifikasi pola aliran plug

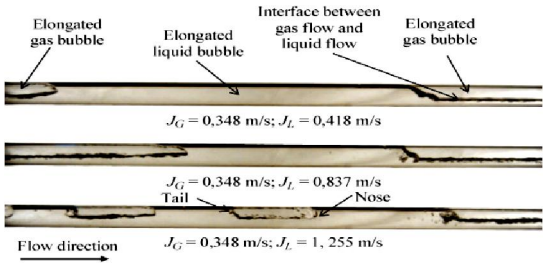
2. PERALATAN DAN PROSEDUR PENELITIAN

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 2. Air dialirkan dari tanki (5) oleh pompa (1) dan mengalir melalui flowmeter air (F2) kedalam pencampur udara-air (3). Udara disuplai dari kompressor (2) dan mengalir melalui flowmeter udara (F1) ke pencampur udara-air (3). Kemudian udara-air yang tercampur mengalir melalui seksi uji dan pemisah udara-air (4), dimana udara dipisahkan ke atmosfer dan air mengalir ke dalam tangki untuk disirkulasikan. Pipa uji terbuat dari pipa transparan dengan diameter dalam (D) 24 mm. Panjang inlet ke seksi uji adalah 4,5 m dan panjang seksi uji adalah 2,5 m. Panjang seksi uji ke outlet adalah 2 m. Sebuah sensor beda tekanan validyne DP15-32 digunakan mengukur penurunan tekanan aliran dua fase udara-air. Jarak lubang tap tekanan adalah 5D. Data akuisisi yang dipakai adalah PCL-816 buatan Advantech. Kecepatan pengambilan data adalah 400 Hz selama 50 dt. Pola aliran diobservasi pada seksi uji. Visualisasi pola aliran menggunakan *high speed camera*. Pengolahan data menggunakan program MATLAB untuk memperoleh grafik tekanan diferensial dalam rangkaian waktu, probability density function (PDF) dan power spectral density (PSD).

3. HASIL DAN DISKUSI

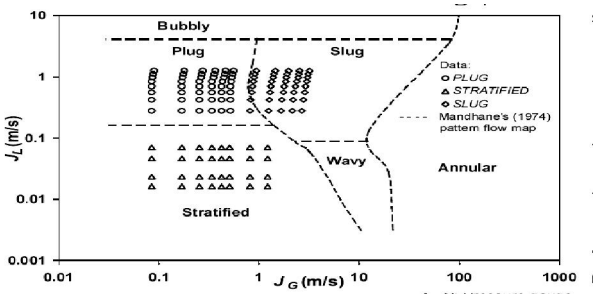
3.1 Pola aliran

Pola aliran plug mempunyai ciri khusus dimana batas antara kantung dan liquid plug terlihat halus dan tidak terjadi aerasi pada bagian likuid plug. Pola aliran plug yang diamati ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola Gambar 2. Pola aliran plug yang diteliti

Kemudian, data pola aliran slug yang didapat dibandingkan dengan peta pola aliran Mandhane dkk. (1974) seperti ditunjukkan Gambar 3. Gambar 3 mengidikasikan bahwa data pola aliran plug yang didapat adalah sesuai dengan hasil penelitian Mandhane dkk. (1974).



Gambar 3. Peta pola aliran

Pengukuran beda tekanan sebagai fungsi kecepatan superfisial fluida ditunjukkan pada Gambar 4, dengan rentang kecepatan superfisial udara: J_G = 0.087-0.522 m/s dan rentang kecepatan superfisial air: J_L = 0.279-1.255 m/s.

3.2. Analisis Statistik

3.2.1 Mean dan Standard Deviation

Gambar 5(a) menunjukkan kecepatan superfisial likuid meningkat dan kecepatan superfisial gas konstan, sebaliknya Gambar 5(b) menyajikan kecepatan superfisial likuid konstan sementara kecepatan superfisial gas meningkat. Akibat kecepatan superfisial likuid dan gas meningkat maka harga mean beda tekanan meningkat. Ini cukup menunjukkan bahwa perubahan kecepatan superfisial fluida adalah faktor dominan yang mempengaruhi harga mean beda tekanan aliran plug. Gambar 6 memperlihatkan harga standar deviasi dari data beda tekanan. Gambar ini menjelaskan bahwa makin tinggi harga standar deviasi makin besar harga simpangan terhadap harga mean (makin tinggi fluktuasi beda tekanan)

3.2.2 Skewness and Kurtosis

Gambar 7(a) dan Gambar 8(a) memperlihat pengaruh kecepatan superficial fluida pada skewness and kurtosis tekanan diferensial secara berurutan. Pada kecepatan superfisial gas yang sama, harga skewness and kurtosis tekanan diferensial turun dengan kenaikan kecepatan superfisial likuid. Kemudian, pengaruh kecepatan superfisial gas pada skewness and kurtosis dar tekanan diferensial diperlihatkan pada Gambar 7(b) dan Gambar 8(b) secara berurutan. Seperti diperlihatkan gambar, pada kecepatan superfisial likuid yang sama, harga skewness and kurtosis tekanan diferensial naik dengan kenaikan kecepatan superfisial likuid

3.2.3 Probability density function Normal (NPDF)

Gambar 9 memperlihatkan pengaruh kecepatan superfisial likuid pada NPDF. Makin tinggi kecepatan superfisial likuid makin besar penyebaran tekanan diferensial. Karakteristik tipe statistik ini dapat menggambarkan pola aliran plug.

3.3. Analisis Chaos

3.3.1 Analisis autokorelasi

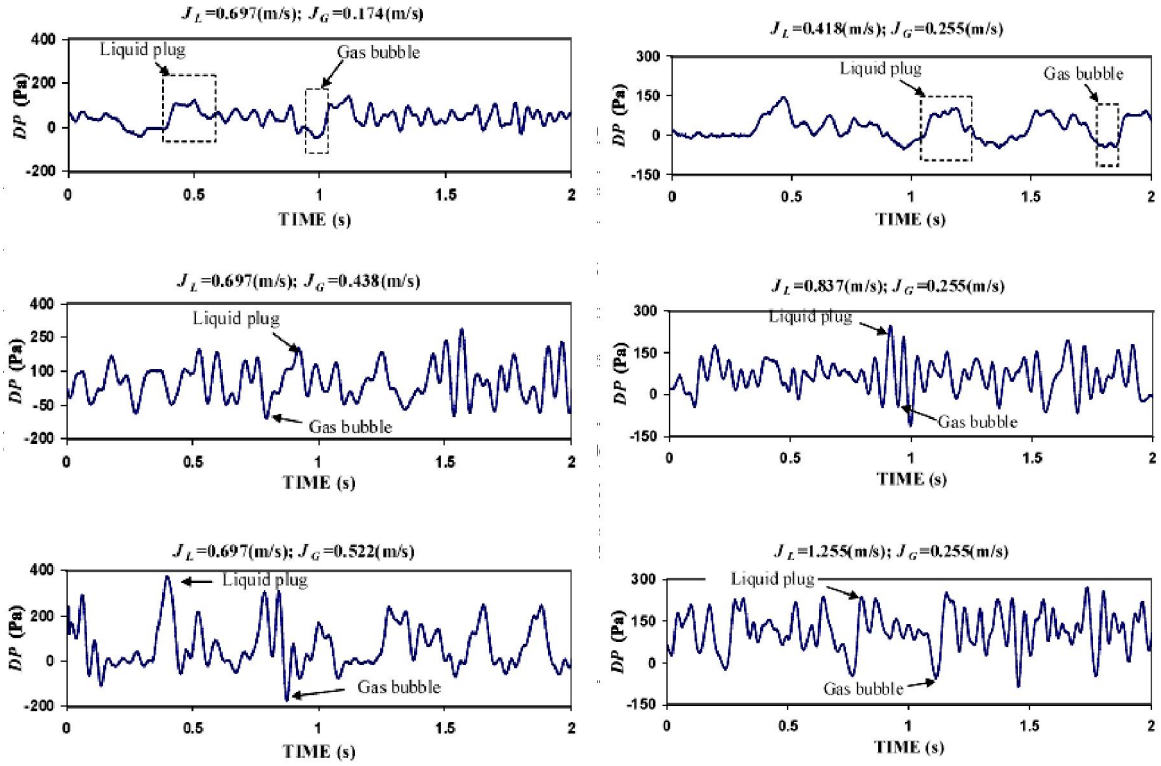
Gambar 9 memperlihatkan autokorelasi data beda tekanan aliran plug. Titik puncak terjadi pada waktu nol detik, kemudian diikuti dengan penurunan harga koefisien autokorelasi yang tajam. Aliran plug mempunyai osilasi periodik sepanjang sumbu x (waktu) dengan harga amplitudo koefsien autokorelasi sekitar harga nol. Perbedaan yang tajam terlihat pada awal (waktu=0), kenaikan kecepatan superfisial likuid mengakibatkan penuruan kemiringan harga koefesien autokorelasi dan kenaikan kecepatan superfisial gas mengakibatkan kenaikan kemiringan harga koefesien autokorelasi

3.3.2 Analisis Power Spectral Density (PSD)

PSD selalu dibutuhkan untuk mengekstrak pola periodik sinyal yang menghasilkan beberapa informasi pada fluktuasi tekanan diferensial dalam domain frekuensi. Dalam penelitian ini, PSD dari fluktuasi tekanan diferensial dihitung dengan Fast Fourier Transform (FFT). Gambar 11 memperlihatkan pengaruh kecepatan gas dan likuid pada PSD. Gambar 11 memberikan titik puncak PSD pada daerah 0 sampai dengan 7 Hz yang mengindentifikasikan frekuensi gelembung gas panjang karena FFT menghasilkan energi densiti dalam frekuensi individu. Titik puncak pertama (*first peak point*) PSD bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi dengan kenaikan kecepatan likuid dan sebaliknya

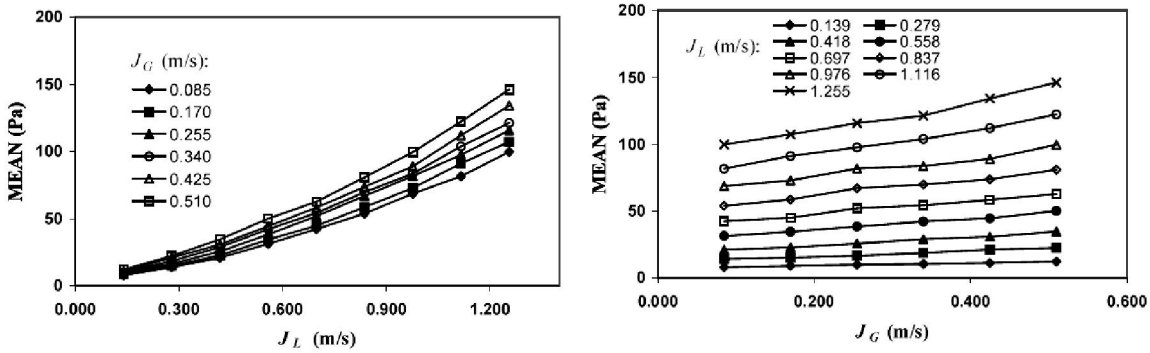
4. KESIMPULAN

Karakteristik fluktuasi beda tekanan aliran plug dua fase gas-likuid sangat dipengaruhi oleh kecepatan superfisial fluida. Perubahan kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial likuid dapat dibedakan dengan analisis statistik, NPDF, autokorelasi dan PSD.



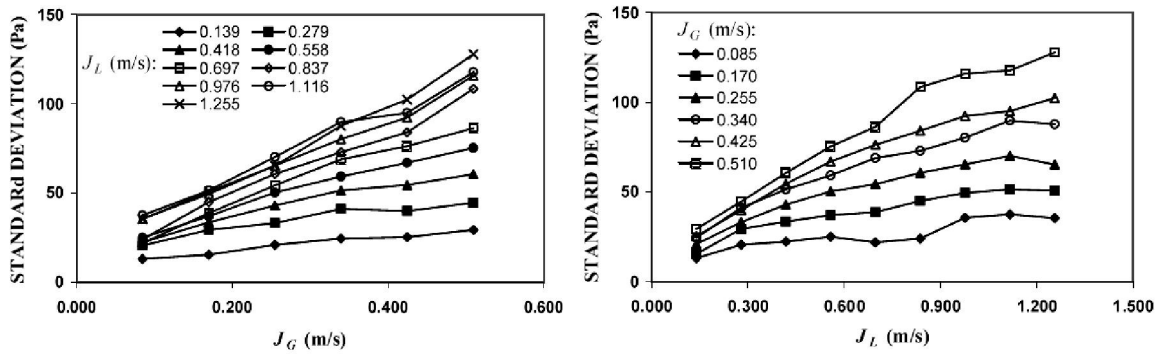
(a) Pengaruh kecepatan gas **(b) Pengaruh kecepatan likuid**

Gambar 4. Beda tekanan variasi waktu



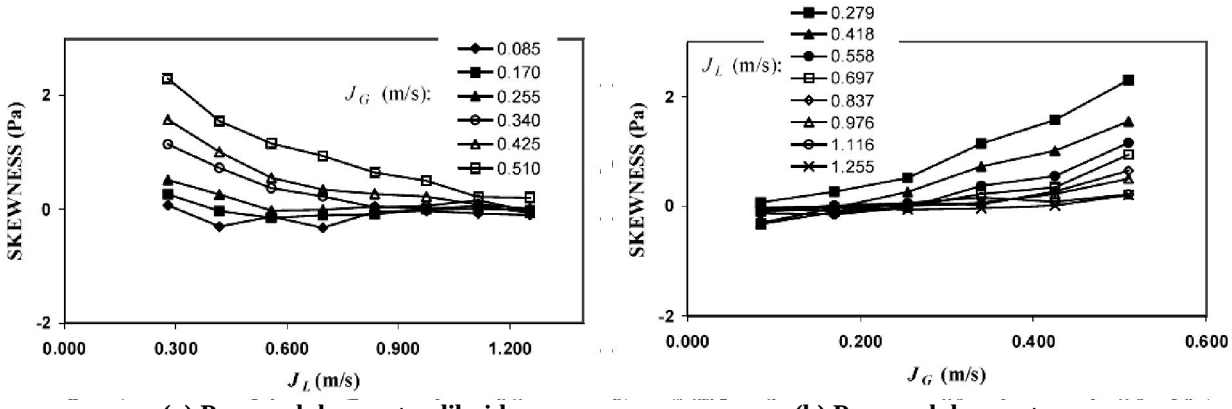
(a) Pengaruh kecepatan gas **(b) Pengaruh kecepatan likuid**

Gambar 5. Mean dari data beda tekanan.



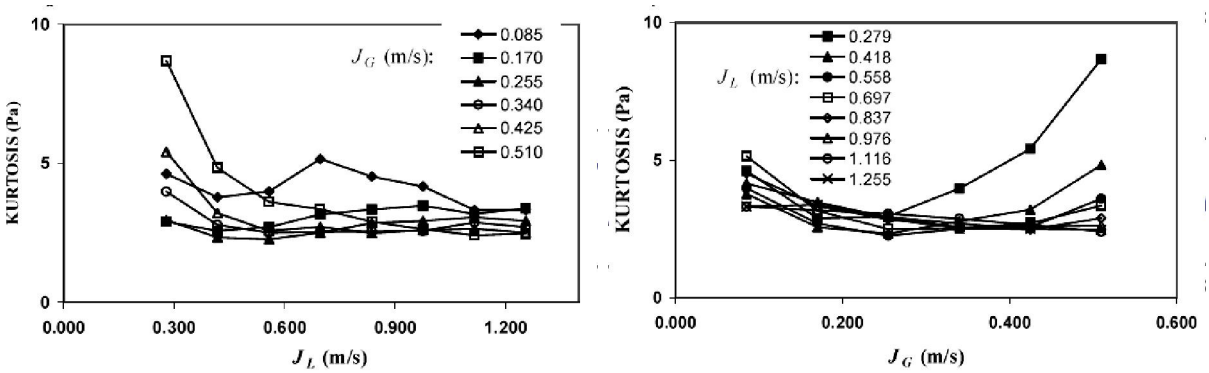
(a) Pengaruh kecepatan gas **(b) Pengaruh kecepatan likuid**

Gambar 6. Standard deviation dari data beda tekanan.



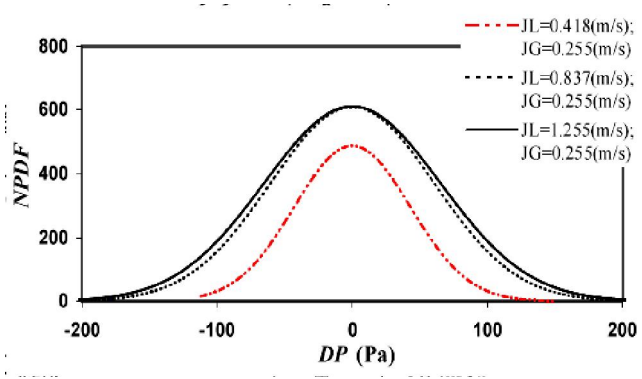
(a) Pengaruh kecepatan likuid **(b) Pengaruh kecepatan gas**

Gambar 7. Skewness dari data beda tekanan.

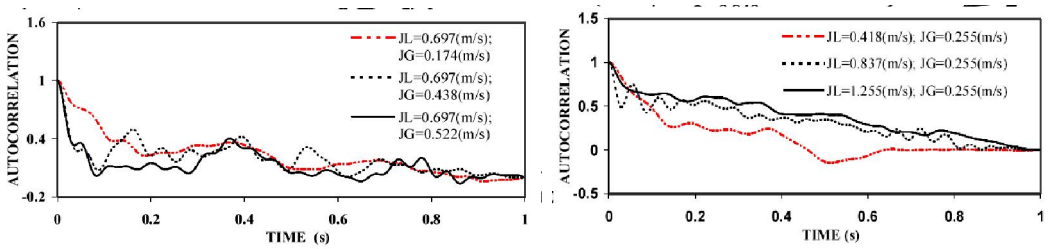


(a) Pengaruh kecepatan likuid **(b) Pengaruh kecepatan gas**

Gambar 8. Kurtosis dari data beda tekanan.

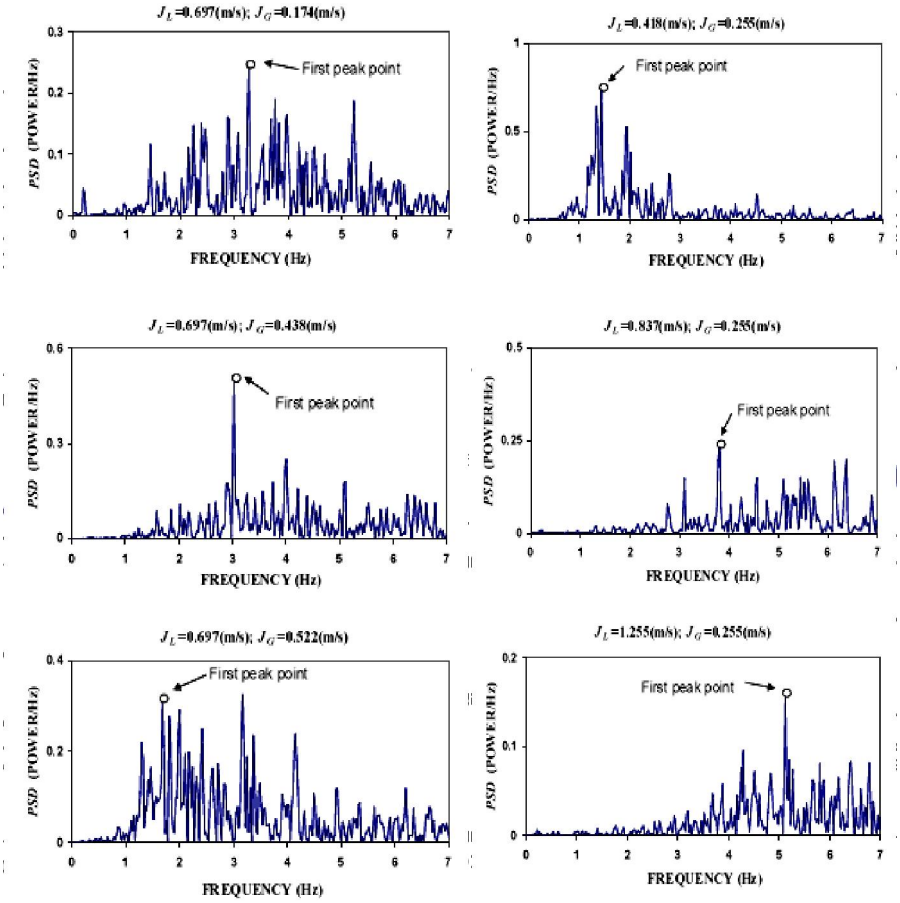


Gambar 9. Probability density function normal dari data beda tekanan



(a) Pengaruh kecepatan s **(b) Pengaruh kecepatan likuid**

Gambar 10. Autokorelasi dari data beda tekanan.



(a) Pengaruh kecepatan gas **(b) Pengaruh kecepatan likuid**

Gambar 11. Power spectral density dari data beda tekanan.

5. DAFTAR SIMBOL

J_L = kecepatan superfisial likuid (m/s)
J_G = kecepatan superfisial gas (m/s)
DP = tekanan diferensial atau bedatekanan (Pa)
PDF = probability density function
NPDF = normalized probability density function
PSD = power spectral density
DPT = differential pressure tranducer

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagian dari penelitian ini telah didukung pembiayaannya dari Skim Penelitian Hibah Bersaing DIKTI Tahun Anggaran 2012.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Franca, F., Acikgoz M., Lahey R. T., Clausse A., 1991. The use of fractal techniques for flow regime identification, *Int. J. Multiphase Flow*, 17, 545-552.
2. Jones Jr. dan N. Zuber, 1975. The interrelation between void fraction fluctuations and flow patterns in two-phase flow, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 2, pp. 273–306.
3. Lin and Hanratty, 1987. Detection of Slug Flow from Pressure Measurements, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 13, pp. 13-21.
4. , J.M., G.A. Gregory and K. Aziz, 1974. A Flow Pattern Map For Gas-liquid Flow in Horizontal Pipes, *Int. J. of Multiphase Flow*, Vol. 1, pp. 537-553.
5. , G., 1984. Identification of flow regimes in vertical gas-liquid two-phase flow using differential pressure fluctuations, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 10, pp. 711–720.
6. Matsui, G., 1986. Automatic identification of flow regimes in vertical two-phase flow using differential pressure fluctuations, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 95, pp. 221-231.
7. Nydal O. J., Pintus S., Andreussi P., 1992. Statistical characterizations of slug flow in horizontal pipes, *Int. J. of Multiphase Flow*, 18, 439-453.
8. Rogero E. C., 2010, Experimental Investigation of Developing Plug and

Slug Flows, Speeding dan Spence, 1993. Flow regimes in two-phase gas-liquid flow, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 19, pp. 245-280.

9. Sun, B., Zheng, Y., 2008. Hilbert-Huang Transform Analysis of Dynamic Differential Pressure Signal of Gas-liquid Two-phase Flow, *Congress on Image and Signal Processing*, IEEE.
10. Tutu, 1982. Pressure fluctuations and flow pattern recognition in vertical two phase gas-liquid flows, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 8, pp. 443–447.
11. Wallis, G.B., 1969. *One Dimensional Two Phase Flow*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
12. Weisman J., Duncan D., Gibson J. et al, 1979. Effects of fluid properties and pipe diameter on two-phase flow patterns in horizontal lines, *Int. J. Multiphase Flow*, 5(6), 437-462.
13. Wilkens, R. J., Thomas D. K., 2008. A Simple Technique for Determining Slug Frequency Using Differential Pressure, *Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 130
14. Wu H.,, Zhou F., Wu Y., 2001. Intelligent identification system of flow regime of oil-gas-water multiphase flow, *Int. J. Multiphase Flow*, 27, 459-475.
15. Xie T., 2004. Hydrodynamic Characteristics of Gas/Liquid/Fiber Three-Phase Flows Based on Objective and Minimally-Intrusive Pressure Fluctuation Measurements, *Dissertation*, Georgia Institute of Technology.
16. Zhou Y., Sun B., dan Li Y., 2003. PDF Characteristic of Differential Pressure Fluctuation Gas-liquid Two-phase Flow in Horizontal Pipe, *Instrument Science*, China.