

# PENGARUH MODEL KEBOCORAN DINDING PIPA SAMPING TERHADAP FLUKTUASI TEKANAN ALIRAN DUA FASE AIR-UDARA PADA PIPA HORIZONTAL

Oleh :

**Syafrul Hadi**

*Jurusan Teknik Mesin - Institut Teknologi Padang*

---

## Abstrak

*Aliran dua fase pada pipa akan memberikan pola aliran yang berbeda dan karakteristik slip antar fase. Pola aliran dapat diidentifikasi dengan fluktuasi tekanan, deteksi kebocoran harus menentukan karakteristik (pola aliran) sebelum suatu titik kebocoran dapat dikenali. Pendeteksian kebocoran aliran dua fase adalah lebih rumit dengan melibatkan distribusi fase di dalam pipa dan lokasi kebocoran pada sekeliling pipa. Bentuk kebocoran yang diteliti terjadi pada pipa dengan berdiameter 7 mm dan berposisi pada samping dinding pipa. Pada penelitian ini digunakan dua buah pressure differential transducer yang dipasang di sisi upstream (sebelum kebocoran) dan sisi downstream (setelah kebocoran) dengan jarak 400 mm. Sinyal fluktuasi penurunan tekanan direkam dengan menggunakan akuisisi data (data acquisition) dan diolah dengan menggunakan Digital Signal Processing (DSP) dan Fast Fourier Transform (FFT) untuk menghasilkan Power Spectrum Density (PSD). Hasil penelitian ini memperlihatkan perubahan/perbedaan yang jelas pada pola sinyal fluktuasi penurunan tekanan di sisi upstream dan sisi downstream, bila terjadi kebocoran pada bagian samping pipa untuk aliran plug, aliran slug.*

**Kata kunci:** *Aliran dua fase, air-udara, pressure differential, kebocoran pipa, pola aliran, Power Spectrum Density*

---

## PENDAHULUAN

Sistem perpipaan yang digunakan untuk mentransportasikan produk fluida, membutuhkan jaringan pipa yang panjang ke tempat penyimpanan sementara. Pecahnya saluran pipa dapat disebabkan oleh korosi, perubahan tekanan yang mendadak, kesalahan produk dan kurangnya pemeliharaan. Oleh karena itu kebocoran harus segera dideteksi dan sistem perpipaan dapat diperbaiki. Aliran dua fase dapat dijumpai pada industri perminyakan, industri kimia dan pembangkit tenaga uap, dimana dalam pemindahan fluidanya menggunakan sistem perpipaan. Pada lintasan pipa dan posisi kebocoran kearah sirkumferal (melingkar), di dalam mengalir fase cair dan fase gas, diskontinuitas kecepatan superfisial cairan dan gas yang ditimbulkan pada titik kebocoran memperlihatkan indikasi nyata dari suatu kebocoran. Perubahan kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas juga mengubah liquid holdup dan mengakibatkan perubahan besarnya fluktuasi tekanan. Dengan demikian kebocoran pada saluran pipa arah sirkumferal dapat diasumsikan sebagai perpindahan massa

fluida masuk kedalam saluran pipa, jika tekanan dalam saluran pipa lebih rendah dibandingkan tekanan luar.

Metode deteksi kebocoran menggunakan analisa tekanan, didasarkan pada perbedaan pengukuran sebelum dan sesudah kebocoran terjadi. Akibat kebocoran akan menyebabkan penyimpangan pengukuran tekanan dari kondisi normal, dimana penyimpangan akan dideteksi sebagai kebocoran, di mana variabel yang mempengaruhi besarnya penurunan tekanan akan menentukan akurasi dari pendeteksian kebocoran. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk mengetahui berbagai variabel yang mempengaruhi penurunan tekanan akibat kebocoran.

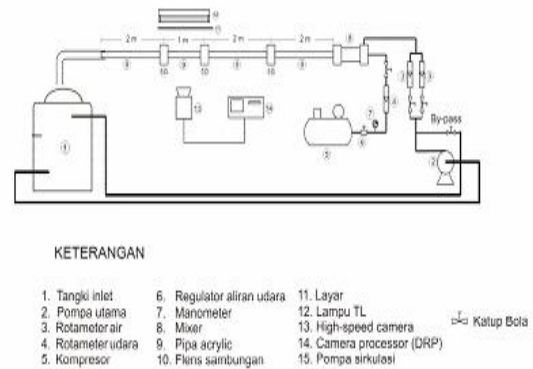
Tujuan umum penelitian adalah membangun metode deteksi kebocoran pipa aliran dua fase, dan tujuan khusus pertama, mengetahui pengaruh pola aliran terhadap perubahan tekanan berfluktuasi. Kedua, mengetahui pengaruh posisi kebocoran dinding pipa samping terhadap fluktuasi tekanan. Lin dan Hanratty (1987), melakukan penelitian eksperimen aliran dua fase udara-air pada dua saluran pipa horizontal diameter 2,54 cm dan

9,53 cm. Metode ini memberikan penjelasan bahwa aliran slug akan menimbulkan fluktuasi tekanan yang terdeteksi pada transduser yang ditempatkan sisi upstream dan downstream. Sun dan Zheng (2008), mengolah signal perbedaan tekanan dinamis yang dihubungkan dengan pengukuran pola aliran, kecepatan superficial dan fraksi hampa dengan menggunakan metode transformasi/pengolahan signal digital (Hilbert-Huang transform). Wang Wenran and Tong Yunxian, (1995) dan Ferreira (1997), mengukur perbedaan tekanan pipa mendatar menggunakan differensial pressure tranducer. Analisa signal fluktuasi tekanan menggunakan metode statistik dan power spectral density (PSD). Billmann dan Isermann (1987), melakukan penelitian pendeteksian lokasi kebocoran pada saluran pipa. Penentuan lokasi kebocoran didasarkan pengukuran laju aliran dan tekanan pada sisi masuk dan keluar. Metode pendeteksian kebocoran menggunakan model matematik dinamik. Baghdadi dan Mansy (1987), melakukan pendeteksian kebocoran dalam saluran pipa air menggunakan pipa PVC  $d = 26$  mm,  $L = 12$  m, diameter kebocoran = 7 mm dan slot/persegi panjang ( $12 \times 2$  mm). Lubang tap tekanan untuk mempelajari variasi tekanan sebelum dan sesudah kebocoran. Macias dan Pereira (2003), mengkaji sensitivitas kebocoran terhadap sistem. Peralatan yang digunakan adalah pressure tranducere dan selenoid valve. Signal tekanan yang dihasilkan oleh pressur tranducer dihubungkan ke komputer kontrol melalui analog to digital converter. Untuk memudahkan pengontrolan dilakukan pengolahan signal. Seung (2009), mengkaji mekanistik kebocoran pipa aliran dua fase minyak-udara untuk kondisi dibawah permukaan air laut. Pemodelan mekanisme kebocoran dibangun dari persamaan empiris aliran dua fase minyak dan udara. Untuk mengetahui posisi kebocoran digunakan perhitungan numerik melalui distribusi tekanan. Dari penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa pola aliran dapat diidentifikasi menggunakan pengukuran fluktuasi penurunan tekanan.

### Bahan dan Metode Penelitian

Peralatan penelitian diperlihatkan pada Gambar 1. Mixer air dan udara air masuk

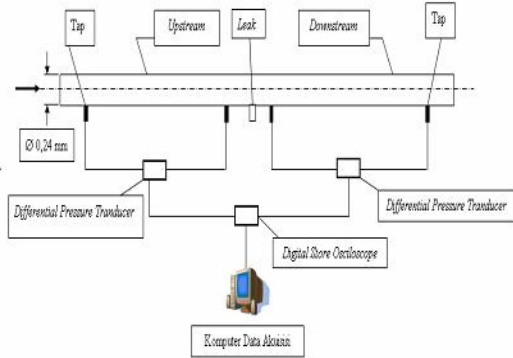
dengan arah radial melalui media berpori sedangkan udara masuk dengan arah aksial. Mixer ini terbuat dari pipa acrylic dengan diameter dalam 24 mm dan diameter luar 30 mm, dibuat lobang kebocoran diameter 7 mm. Total panjang pipa adalah 10 meter dan rasio panjang dan diameter pipa ( $l/d$ ) sebesar 393.



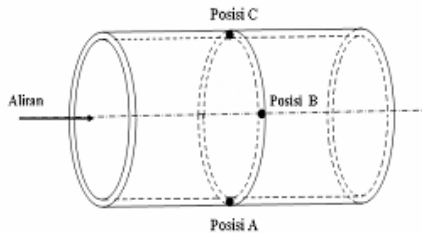
Gambar 1. Susunan peralatan eksperimen

Parameter penelitian yang digunakan adalah pola aliran plug dan slug, sedangkan batasan masalah yang akan digunakan adalah aliran dua fase air-udara searah, diameter pipa 24 mm, posisi pipa horisontal, bentuk kebocoran bulat diameter 7 mm dan untuk membuat besar kebocoran dan lokasi, posisi kebocoran pipa pada tekanan atmosfer. Pengambilan data fluktuasi tekanan, dua buah differential pressure tranducer di tempatkan sisi upstream dan downstream, kedua preassure tersebut berjarak 40 cm dan pengambilan data fluktuasi tekanan dilakukan 2500 sampel per detik.

Gambar 2 memperlihatkan seksi uji berupa peralatan perekam data yang digunakan untuk pengamatan fluktuasi tekanan aliran dua fase udara dan air searah horisontal dan gambar 3 menunjukkan posisi kebocoran pipa. Dengan dua buah Differential Pressure Tranduser yang ditempatkan pada sisi upstream dan downstream. Pressure tap kedua Diffirensail Pressure Tranducer tersebut berjarak 400 mm. Pengambilan data fluktuasi tekanan adalah 2500 sampel per detik. Data fluktuasi tekanan merupakan domain waktu dianalisa menggunakan analisis *Power Spectra Density*.



Gambar 2. Seksi uji dan peralatan perekam data.



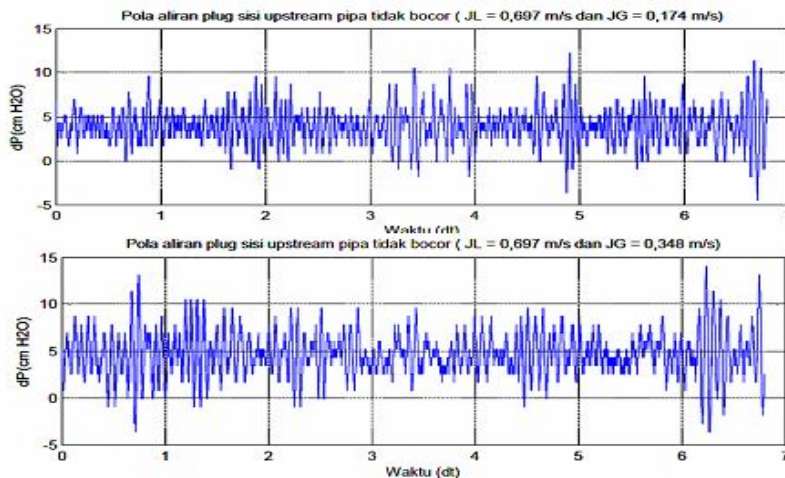
Gambar 3. Posisi Kebocoran Pipa

Tahap pertama analisa dilakukan dengan membandingkan hasil analisis harga PSD penurunan tekanan sisi upstream pipa tidak bocor, karena kondisi ini belum memberikan perubahan terhadap kondisi aliran. Dan kedua membandingkan analisis harga PSD penurunan tekanan kondisi sisi upstream pipa tidak bocor dan sisi downstream pipa bocor pipa bocor, karena kondisi sisi downstream pipa bocor ini sudah terjadi pengurangan massa aliran air dan udara dalam saluran.

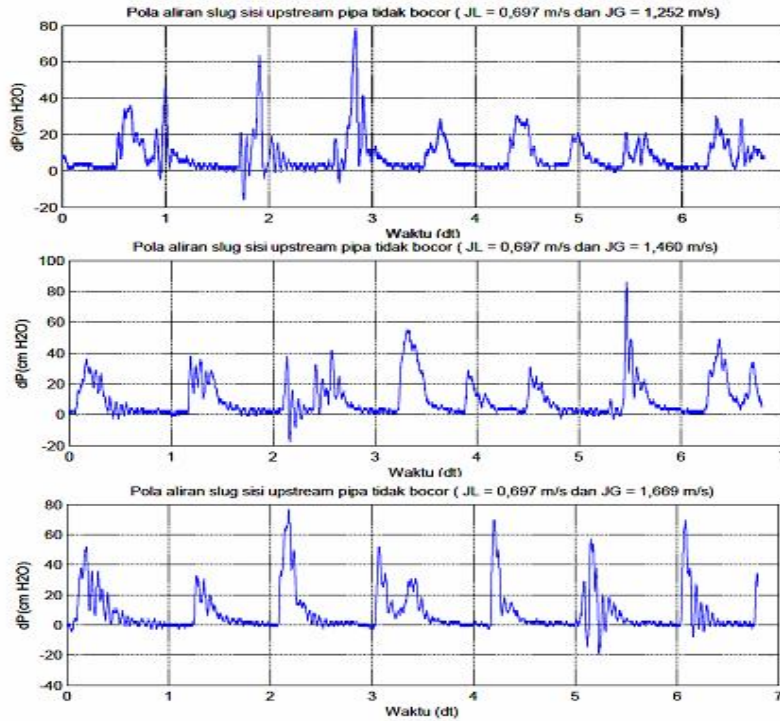
Hasil perbandingan tersebut akan ditarik kesimpulan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sinyal fluktuasi tekanan hasil pengukuran pada kondisi pipa tidak bocor untuk aliran plug dan slug, pada kecepatan superficial air tetap dan kecepatan superficial udara berubah pada sisi upstream pipa tidak bocor diperlihatkan pada Gambar 4 dan gambar 5. Sinyal fluktuasi tekanan dalam domain waktu untuk pola aliran plug dan slug, tidak mempunyai arti sebelum dianalisa menggunakan metoda statistik didasarkan pada Root Mean Square (RMS) dan analisa Power Spectra Density (PSD) pada penelitian sinyal fluktuasi tekanan analisa PSD digunakan bahasa pemrograman MATLAB.

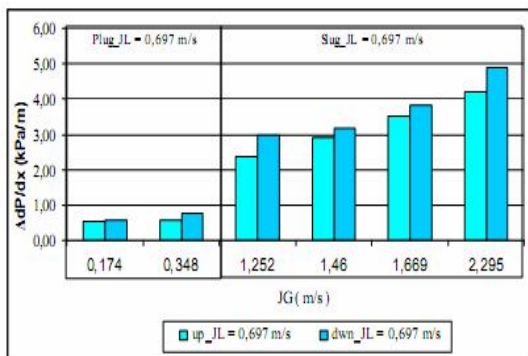


Gambar 4. Perbandingan sinyal fluktuasi tekanan untuk pola aliran plug sisi upstream pipa tidak bocor.



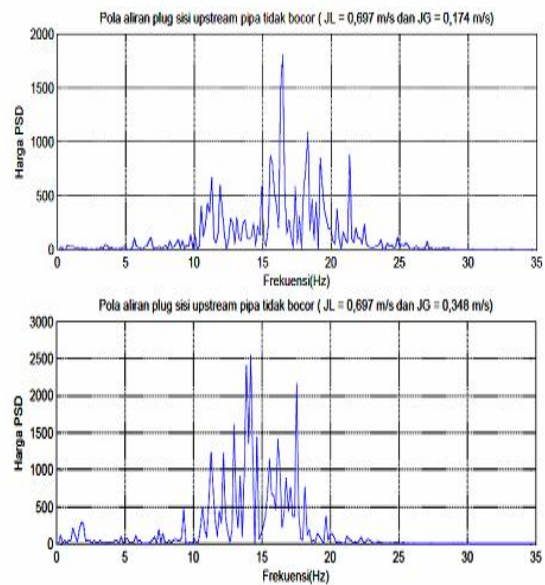
Gambar 5. Perbandingan sinyal fluktuasi tekanan untuk pola aliran slug sisi upstream pipa tidak bocor

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan tekanan pengukuran dengan metoda root mean square, ditunjukkan dalam grafik peningkatan kecepatan supesial udara (JG) terhadap kecepatan superfisial air tetap (JL), untuk pola aliran plug dan slug pada sisi upstream dan downstream pipa tidak bocor diperlihatkan fluktuasi tekanan dari hasil pengukuran sisi downstream pipa tidak bocor ada peningkatan.



Gambar 6. Perbandingan tekanan pada JL tetap dan JG berubah sisi upstream dan downstream pipa tidak bocor pola aliran plug dan slug.

Gambar 7 dan gambar 8 memperlihatkan pola aliran plug dan slug pada sisi upstream pipa tidak bocor didapatkan perbandingan harga PSD sebagai berikut :



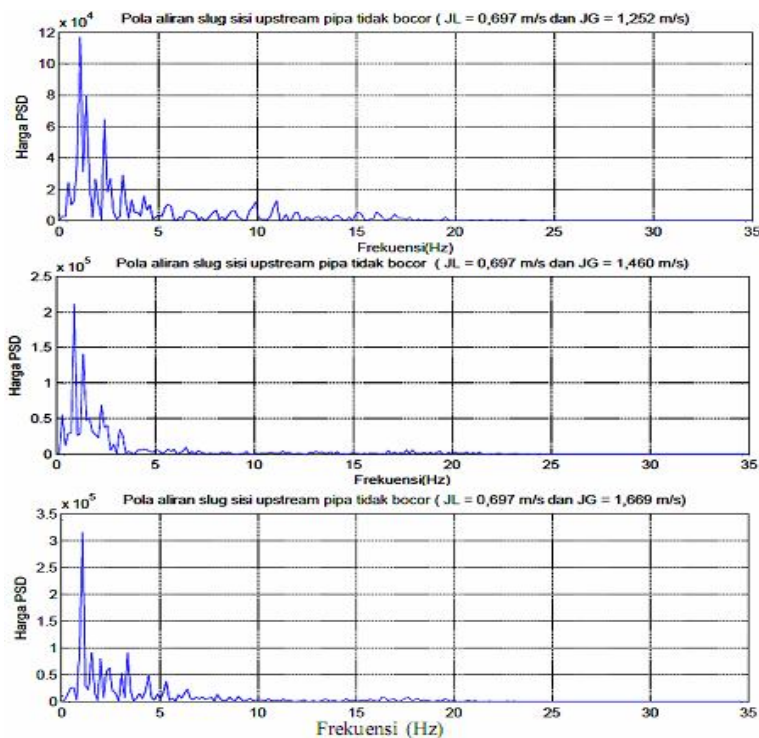
Gambar 7. Perbandingan harga PSD untuk pola aliran plug, sisi upstream pipa tidak bocor.

Gambar 7 memperlihatkan pada pola aliran plug sisi upstream pipa tidak bocor pada kecepatan superfisial air ( $JL = 0,697 \text{ m/s}$ ) dan kecepatan superfisial udara ( $JG = 0,174 \text{ m/s}$ ) harga PSD (500-2000 cm H<sub>2</sub>O) ada daerah frekuensi (11 – 22 Hz), peningkatan kecepatan superfisial udara ( $JG = 0,348 \text{ m/s}$ ) pada kecepatan superfisial air tetap, harga PSD (500-3000 cm H<sub>2</sub>O) ada pada daerah frekuensi (9-18Hz). Dengan demikian sinyal fluktuasi tekanan meningkat dengan daerah frekuensinya bergeser kekiri sebagai akibat peningkatan kecepatan superfisial udara pada kecepatan superfisial air tetap. Rata-rata hitung dan standar deviasi dari rentangan frekuensi mengalami peningkatan (136,6759 cm H<sub>2</sub>O – 202,1296 cm H<sub>2</sub>O) dan (249,1209 cm H<sub>2</sub>O – 414,2179 cm H<sub>2</sub>O).

Gambar 8 memperlihatkan pola aliran slug pada kecepatan superfisial air ( $JL = 0,697 \text{ m/s}$ ) dan kecepatan superfisial udara ( $JG = 1,252 \text{ m/s}$ ) pada sisi upstream pipa tidak bocor harga PSD (0-12 x 10<sup>4</sup> cm H<sub>2</sub>O) ada pada daerah frekuensi (0-20 Hz). Kecepatan superfisial udara dirubah menjadi  $JG = 1,460 \text{ m/s}$  dan  $JG = 1,669 \text{ m/s}$  pada kecepatan superfisial air tetap, harga PSD berubah menjadi (0-3,5 x 10<sup>5</sup> cm H<sub>2</sub>O) ada daerah frekuensi yang sama (0-

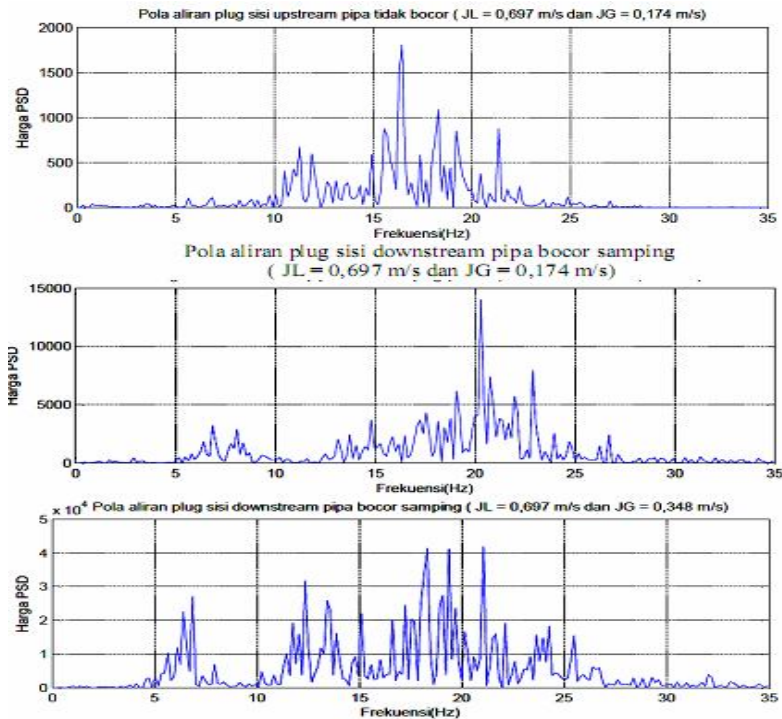
20 Hz). Dengan demikian peningkatan kecepatan superfisial udara pada kecepatan superfisial air tetap sisi upstream pipa tidak bocor yang diperlihatkan gambar 8 yang menunjukkan peningkatan harga PSD dalam sentimeter kolom air. Dan cara lain untuk membandingkan dari rata-rata hitung (mean) dan standar deviasi dari rentangan frekuensi tertentu juga mengalami peningkatan untuk harga mean dari (4,3562 x 10<sup>3</sup> cm H<sub>2</sub>O – 8,0962 x 10<sup>3</sup> cm H<sub>2</sub>O) dan standar deviasinya dari (1,2231 x 10<sup>4</sup> cm H<sub>2</sub>O – 2,6800 x 10<sup>4</sup> cm H<sub>2</sub>O).

Gambar 9 dan gambar 10 memberikan perbandingan harga PSD sisi upstream tidak bocor dengan sisi downstream pipa bocor samping untuk pola aliran plug dan slug, yang bertujuan melihat pengaruh sinyal fluktuasi perbedaan tekanan sisi downstream pipa bocor terjadi pengurangan massa aliran dalam saluran pipa. Untuk pola aliran plug pada kecepatan superfisial air  $JL = 0,697 \text{ m/s}$  dan kecepatan superfisial udara  $JG = 0,174 \text{ m/s}$ . Pada sisi upstream pipa tidak bocor dan sisi downstream pipa bocor samping.



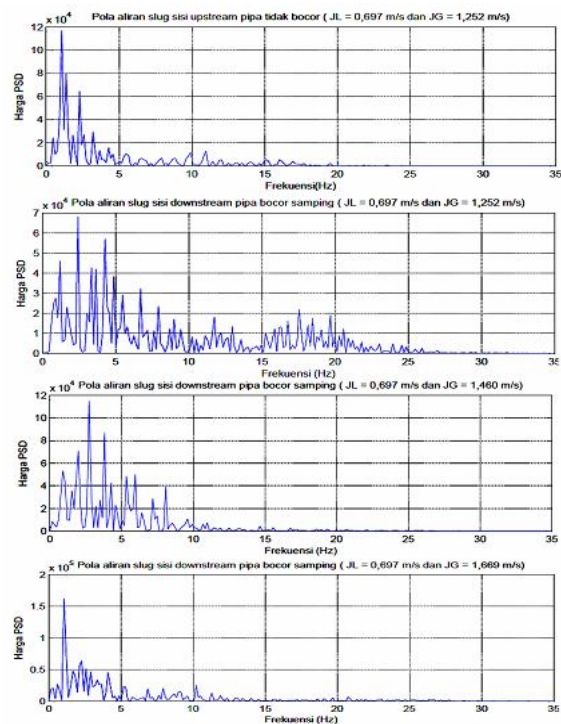
Gambar 8. Perbandingan harga PSD untuk pola aliran slug, sisi upstream pipa tidak bocor.





Gambar 9. Perbandingan harga PSD sisi upstream pipa tidak bocor dan sisi downstream pipa bocor bawah, samping dan atas untuk pola aliran plug ( $JL = 0,697 \text{ m/s}$  dan  $JG = 0,174 \text{ m/s}$  -  $JG = 0,348 \text{ m/s}$ ).

Gambar 9. Memperlihatkan sisi upstream pipa tidak bocor harga PSD dalam 500- 2000 cm H<sub>2</sub>O pada ( $JL = 0,697 \text{ m/s}$  dan  $JG = 0,174 \text{ m/s}$ ), berada pada daerah frekuensi (11- 21 Hz), sisi downstream pipa bocor samping harga PSD berubah (5000 - 15000 cm H<sub>2</sub>O) ada pada daerah frekuensi (19-23 Hz). Penambahan  $JG = 0,348 \text{ m/s}$  dapat  $JL$  tetap ( $0,697 \text{ m/s}$ ) sisi downstream pipa bocor samping menyebabkan peningkatan harga PSD ( $1 - 4,5 \times 10^4 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) ada pada daerah frekuensi (6 - 25,5 Hz). Cara lain untuk membandingkan harga PSD dari rata-rata hitung dan standar deviasi dari rentang frekuensi (mean dan standar deviasi) sisi upstream pipa tidak bocor dan sisi downstream pipa bocor samping untuk harga mean ( $136,6759 \text{ cm H}_2\text{O} - 5,3178 \times 10^3 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) dan standar deviasinya berubah dari ( $249,1209 \text{ cm H}_2\text{O} - 7,9189 \times 10^3 \text{ cm H}_2\text{O}$ ).



Gambar 10. Perbandingan harga PSD sisi upstream pipa tidak bocor dan sisi downstream pipa bocor bawah, samping dan atas untuk pola aliran slug ( $JL = 0,697 \text{ m/s}$  dan  $JG = 1,252 \text{ m/s}$  -  $JG = 1,669 \text{ m/s}$ ).

Gambar 10 memperlihatkan pola aliran slug (  $JL = 0,697 \text{ m/s}$  dan  $JG = 1,252 \text{ m/s}$  ), dimana sisi upstream pipa tidak bocor besaran harga PSD ( $0-12 \times 10^4 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) ada pada daerah frekuensi ( $0 - 20 \text{ Hz}$ ). Pada JL dan JG yang sama pada sisi downstream pipa bocor samping harga PSD menurun ( $0-7 \times 10^4 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) ada pada daerah frekuensi berubah ( $0-25 \text{ Hz}$ ), dan peningkatan  $JG = 1,460 \text{ m/s}$  sampai dengan  $JG = 1,669 \text{ m/s}$ , sisi downstream pipa bocor samping harga PSD mengalami peningkatan ( $0-2 \times 10^5 \text{ cm H}_2\text{O}$ ). Dan cara lain mendapatkan perbandingan harga PSD, rata-rata hitung (*mean*) dan standar deviasi dari rentang frekuensi tertentu harga (mean dan standar deviasi) mengalami penurunan dari ( $4,3562 \times 10^3 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) dan mengalami peningkatan  $7,1749 \times 10^3 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) dan standar deviasi dari ( $1,2231 \times 10^4 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) mengalami peningkatan  $1,6243 \times 10^3 \text{ cm H}_2\text{O}$ ).

Dengan demikian dari kedua pola aliran plug dan slug, sisi downstream pipa bocor samping harga PSD mengalami peningkatan pada kecepatan superfisial air tetap pada kecepatan superfisial udara, juga mengalami perubahan daerah frekuensi. Harga PSD dalam sentimeter kolom air dan dari rata-rata hitung dan standar deviasi dari rentangan frekuensi tertentu.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian ini memperlihatkan terjadinya fluktuasi penurunan tekanan yang ditunjukkan dengan menggunakan PSD untuk mendeteksi kebocoran pipa aliran dua fase air-udara. Terdapat perubahan/perbedaan yang jelas pada pola sinyal fluktuasi tekanan di sisi downstream, bila terjadi kebocoran dinding pipa samping untuk aliran plug dan slug. Perbedaan sinyal tersebut dapat dikenali dengan mengetahui hasil analisis PSD.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baghdadi, A.H.A and Mansy, H.A. 1988 A Mathematical Model For Leak Location In Pipelines. Appl. Math. Modelling, Vol. 12.
- Bin Sun, Yongjun Zheng, 2008 Hilbert-Huang Transform Analysis of Dynamic. Differential Pressure Signal Of Gas-Liquid Two-Phase Flow, Congress on Image and Signal Processing.
- Fitroh D.R, 2009," Kaji eksperimental Pola Aliran Plug dan Slug air – udara pada pipa mendatar menggunakan high speed video-camera" skripsi jurusan teknik mesin dan industri Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Keiderle, G. and Mayinger, F. 1993 Pressure Loss In Valve During Horizontal Two-Phase Flow. Technische Universitat Munchen D-80290 Munchen.
- Li Guo-Zhen, 2007 A Physical Model For Predicting The Pressure Drop Of Gas-Liquid Slug Flow In Horizontal Pipes, Journal of Hydrodynamics Ser. B 19 (6).
- LIN, P.Y. and Hanratty, T.J. 1986 Detection of Slug Flow From Pressure Measurements. Int.J. Multiphase Flow Vol. 13, No. 1, pp. 13-21.
- Mohamed Limayem Lamari, 2001 An Experimental Investigation of Two-Phase (Air-Water) Flow Regimes in a Horizontal Tube at Near Atmospheric condition. Thesis, Department of Mechanical And Aerospace Engineering Carleton University, Ottawa, Ontario Canada.
- Spedding, P.L. and Spence, D. R. 1993, Flow Regimes In Two-Phase Gas-Liquid Flow. Int. J. Multiphase Flow Vol. 19, No. 2, Pp. 245-280,
- Seung Ihl Kam, 2009 Mechanistic Modeling Of Pipeline Leak Detection At Fixed Inlet Rate. Journal of Petroleum Science And Engineering.

Stuart L. Scott, Dr. 2003 Worldwide Assessment of Industry Leak Detection Capabilities for single & Multiphase Pipelines, Department of Petroleum Engineering Texas A & M University.

Wang Wenran And Tong Yunxian, ,1995, A New Method Of Two-Phase Flow Measurement By Orifice Plate Differential Pressure Noise Flow Meas. Instrum.. Vol. 6. No. 4, Pp. 265-270.

Raldi Ariono Koestoer, Ir. Susanti Proborini, 1994 Aliran Dua Fase dan Fluks Kritis, PT. Pradnya Paramita Jakarta.