

Karakteristik dan Visualisasi Aliran Dua Fasa pada Pipa Spiral

Damawidjaya Biksono

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmad Yani (Unjani), Cimahi-Bandung.
Email: damawidjaya@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian aliran udara-air di dalam pipa spiral horizontal telah dilakukan. Efek aliran di dalam pipa spiral dipakai untuk melihat letak lokasi perubahan gelembung udara. Tujuan dari studi ini adalah untuk menjelaskan karakteristik aliran campuran udara-air yang mengalir di dalam pipa spiral horizontal. Pengukuran kerugian tekanan dan letak lokasi penyebaran gelembung udara-air pada penampang melintang pipa, masing-masing menggunakan manometer dan digital video. Hasil koefisien gesek campuran udara-air lebih besar dibandingkan koefisien gesek pada air dan letak posisi aliran udara dapat dijelaskan.

Kata kunci: Aliran dua fasa, pipa spiral.

ABSTRACT

The flow of air-water mixtures has been investigated in a horizontal spiral pipe. The effect of flow in the spiral pipe will be used to identify the location bubble transition. The purpose of present study is to understand characteristics of the air - water mixture flow in a horizontal spiral pipe. Measurements of pressure losses and bubble distribution of cross section spiral pipe were carried out for air-water by means of manometer and digital video, respectively. As a result, it is shown that the friction of air-water mixture is greater than that of water, and a location of bubble flow can be identified.

Keywords: Two phase flow, spiral pipe

PENDAHULUAN

Dalam industri sering dijumpai aliran dua-fasa yang merupakan bagian dari aliran multi-fasa. Aliran dari fasa yang berbeda-beda telah banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri. Dalam kehidupan sehari-hari hal tersebut dapat dilihat pada aliran di saluran pembuangan, aliran darah, aliran semen dan pasir di pipa dan lain-lain.

Cara memindahkan zat-zat tersebut dalam industri banyak macamnya. Pada aliran air dan udara yang mengalir dalam pipa spiral, kecepatan dan kapasitasnya dapat berubah-ubah. Posisi butiran udara terletak disekitar sumbu pipa dengan kedudukan yang bervariasi dari sumbu (kwadran) pipa spiral.

Tempat kedudukan udara dalam pipa spiral dengan bantuan kaca (*mirror*) dan kamera digital dapat ditentukan untuk masing-masing variasi air dan butiran udara (*bubble*). Dengan mengukur kerugian tekanan dalam pipa menggunakan manometer, koefisien gesek aliran dua fasa dapat ditentukan, apakah koefisien gesek udara lebih besar atau lebih kecil dari pada air.

Dunia industri banyak sekali menggunakan pipa dalam pendistribusian fluida cair dalam melakukan proses produksi. Oleh karena itu efisiensi pendistribusian dalam industri harus diperhatikan. Dengan efisiensi yang baik, maka biaya produksi dapat ditekan sehingga harga jual produk atau barang tersebut lebih kompetitif

Dalam berbagai industri sebagian besar fluidanya mengalir pada pipa-pipa saluran tertutup (*closed conduit flow*). Masalah utama yang muncul antara lain:

1. Terjadinya gesekan pada dinding pipa.
2. Terjadinya turbulensi karena gerakan relatif dalam molekul fluida yang dipengaruhi oleh viskositas fluida itu sendiri dan bentuk pipa.
3. Terjadinya kapasitas aliran yang semakin kecil pada daerah yang jauh dari sumber karena hambatan gesek pada aliran yang semakin membesar.

Dari seluruh permasalahan tersebut diatas dapat diduga bahwa faktor tekanan atau kerugian tekanan dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi pompa. Oleh karenanya diperlukan peninjauan lebih mendalam lagi pada bidang mekanika fluida terutama dinamika fluida untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Sejak ditemukannya aliran dua-fase oleh Heron dan Leonardo da Vinci [1], penggunaan sistem aliran dua-fasa yang diikuti dengan perubahan fasa untuk mengubah energi termal menjadi energi kinetik sudah lama dikenal.

H. Monji, at. Al [2] dalam suatu konferensi melaporkan tentang adanya pengurangan *pressure drop* dalam aliran dua fasa (campuran partikel dalam air) pada kondisi laju aliran yang tinggi.

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka akan terjadi hambatan aliran, hambatan tersebut diakibatkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dari fluida tersebut yang sering juga disebut dengan kerugian tinggi tekan (*head loss*) atau penurunan tekanan (*Pressure drop*). *Head loss* atau *pressure drop* merupakan pengaruh yang ditimbulkan karena pengaruh gesekan fluida (*friction losses*) dan perubahan pola aliran terjadi (karena fluida harus mengikuti bentuk dari dindingnya).

Berdasarkan hasil pengujian dari HGL. Hagen (1839), penurunan tekanan berubah secara linier dengan kecepatan (U) sampai kira-kira 0,33 m/s. Namun di atas sekitar 0,66 m/s penurunan tekanan hampir sebanding dengan kuadrat kecepatan ($\Delta P \sim U^{1.75}$) [3]. Pada tahun 1883 Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter: kerapatan (ρ), kecepatan (U), diameter (D) dan viskositas (μ) absolut yang selanjutnya disebut dengan bilangan Reynolds. Penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan (λ) dan kekasaran relatif dari dinding pada (ϵ/D) [4] jadi:

$$\lambda = f(\text{Re}, \epsilon/D) \quad (1)$$

Menurut Henry Darcy (1857) yang melakukan eksperimen aliran dalam pipa, menyatakan bahwa kekasaran mempunyai efek, sehingga didapatkan faktor gesekan Darcy (λ) dengan formulasi

$$h_f = \frac{\lambda \cdot L}{D \left(\frac{V^2}{2g} \right)} \quad (2)$$

Dari Persamaan 2, yang disebut dengan formula Darcy-Weisbach didapat beberapa bentuk fungsi dari (λ) atau (f)

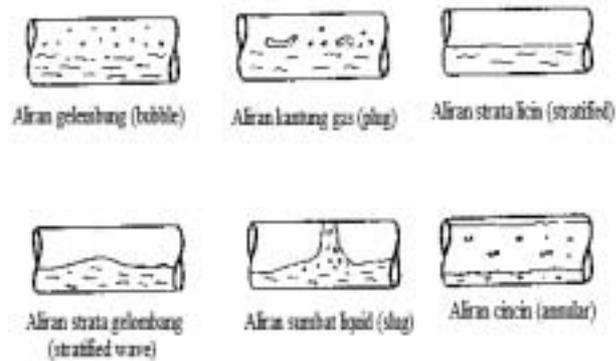
Aliran fluida dalam pipa yang berbentuk lingkaran terbagi menjadi dua, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Karakteristik antara kedua aliran tersebut berbeda-beda dari segi kecepatan, debit dan massa jenisnya. Bilangan Reynolds dapat mendefinisikan kedua aliran campuran air-udara tersebut dengan persamaan berikut:

$$\text{Re} = \frac{\rho_h \cdot U \cdot D_h}{\mu_h} = \frac{U \cdot D_h}{\nu} \quad (3)$$

Pola aliran pada pipa horizontal, ada efek kekuatan gravitasi untuk menggantikan cairan yang lebih berat mendekati pipa bagian bawah.

Bentuk lain dari pola aliran dapat bertambah karena efek ini, di mana aliran tersebut dibagi menjadi dua lapisan. Pola aliran tersebut diperlihatkan pada Gambar 1 yang terdiri dari:

- Aliran gelembung (*bubble*), dimana gelembung gas cenderung untuk mengalir pada bagian atas tube.
- Aliran kantung gas (*plug*), dimana gelembung gas kecil bergabung membentuk kantung gas.
- Aliran strata licin (*stratified*), dimana permukaan bidang sentuh cairan-gas sangat halus, tetapi pola aliran seperti ini biasanya tidak terjadi. Batas fasanya hampir selalu bergelombang.
- Aliran strata gelombang (*stratified wave*), di mana amplitudo gelombang meningkat karena kenaikan kecepatan gas.
- Aliran sumbat liquid (*slug*), dimana Amplitudo gelombang biasanya besar hingga menyentuh bagian atas tube.
- Aliran cincin (*annular*), sama dengan pada tabung vertikal hanya *liquid film* lebih tebal didasar tabung dari pada bagian atas.



Gambar 1. Pola Aliran pada Pipa Horizontal [5].

Densitas campuran dihitung dari persamaan:

$$\frac{1}{\rho_h} = \frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_L} \quad (4)$$

Untuk menghitung penurunan tekanan karena gesekan dapat digunakan persamaan Fanning [6].

$$\left(- \frac{dp}{dz} \right)_F = \frac{2 \cdot c_f \cdot G^2}{D \cdot \rho_h} \quad (5)$$

di mana:

$c_f = 16 / \text{Re}$ untuk aliran laminar

$c_f = 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0.25}$ untuk aliran turbulen

$\rho_h = \rho_m$.

Faktor gesekan dua fasa dapat diperkirakan dengan menggunakan viskositas dua fasa untuk aliran homogen [1].

$$\frac{1}{\mu_h} = \frac{x}{\mu_g} + \frac{(1-x)}{\mu_L} \quad (6)$$

METODE PENELITIAN

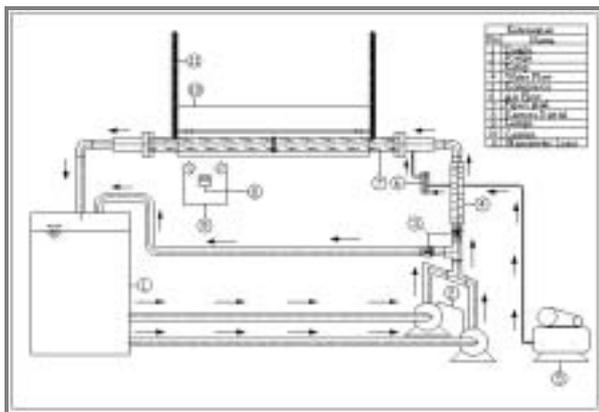
Unit pengujian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua unit, yaitu pengujian langsung dan pengujian tak langsung.

Pada unit pengujian langsung, seluruh variabel yang diukur langsung pada saat penelitian, nilainya bisa langsung diketahui tanpa perlu perhitungan lebih lanjut. Unit pengujian langsung terdiri dari pengukuran temperature ($^{\circ}\text{C}$), beda ketinggian (m), massa fluida yang keluar (kg), waktu yang diperlukan untuk mengisi bejana gelas ukur (s) dan volume fluida yang tertampung digelas ukur (ml). Alat bantu yang digunakan adalah termometer ($^{\circ}\text{C}$), stopwatch (s), timbangan (kg), viezometer (mm) dan kamera. Seluruh unit pengujian langsung digunakan sebagai input data untuk mendapatkan nilai unit pengujian tak langsung.

Pada unit pengujian tak langsung, seluruh variable nilainya didapat dari perhitungan dan digunakan untuk bahan pengamatan atau analisis. Pada pengujian ini variable yang dihitung terdiri dari debit aliran (Q), kecepatan aliran (U), bilangan Reynolds (Re) dan koefisien gesek (λ).

Selanjutnya pipa acrylic disambungkan dengan pipa PVC, pompa dan *sump tank* seperti pada Gambar 2. Pada pemasangan seluruh rangkaian digunakan *waterpass* agar posisi rangkaian utama pengujian tidak miring. Selain itu untuk mengurangi dan menghilangkan getaran dari pompa pada pipa instalasi, maka pipa acrylic spiral diikat pada meja uji dengan peredam karet.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dirakit sendiri dengan mengacu pada refrensi penelitian dan jurnal-jurnal terkait. Alat pengujian ini merupakan satu kesatuan dari komponen-komponen berikut:



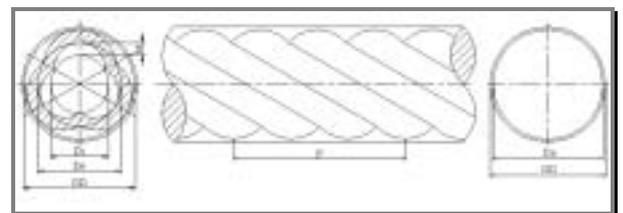
Gambar 2. Skema Sistem Instalasi Pengujian

1. *Sump tank* dengan kapasitas maksimal 60 liter untuk menampung air yang disirkulasikan.
2. Pompa sentrifugal 2 (dua) buah dengan karakteristik head 9 meter dan kapasitas aliran 62

L/menit, yang digunakan untuk memompa dan mensirkulasikan air.

3. Katup pengatur $1\frac{1}{4}$ " untuk mengatur kecepatan aliran yang masuk pipa pengujian dan $1\frac{1}{4}$ " untuk *by pass* agar kecepatan aliran yang bersirkulasi dalam rangkaian konstan dan mencegah terjadinya *water hammer*.
4. *Water flow* dengan kapasitas pengukuran maksimal 70 L/menit, digunakan untuk menentukan dan mengukur kapasitas aliran air yang bersirkulasi.
5. Kompresor dengan karakteristik tekanan maksimum 6 bar digunakan untuk injeksi udara yang bersirkulasi dengan air.
6. *Air flow* dengan kapasitas pengukuran maksimal 10 L/menit, digunakan untuk menentukan dan mengukur kapasitas aliran udara yang bersirkulasi.
7. Pipa acrylic spiral dengan diameter luar 52 mm, tebal pipa 7 mm, diameter dalam 27 mm sepanjang 1120 mm yang digunakan sebagai pipa pengujian.
8. Kamera digital digunakan untuk mengabadikan dan memvisualisasikan aliran air dan udara (campur) yang bersirkulasi.
9. Cermin dengan kemiringan 45° digunakan untuk melihat kecenderungan letak posisi *bubble* yang bersirkulasi dengan air.
10. *Piezometrik* yang digunakan untuk mengukur beda tekanan pada dua titik yang berbeda pada pipa pengujian. Alat ini terbuat dari papan berskala dan selang akuarium.

Dimensi pipa spiral memiliki diameter luar pipa (OD) = 52 mm, tebal pipa (t) = 7 mm, diameter dalam spiral (D_i) = 27 mm, diameter luar spiral (D_o) = 39 mm dan panjang *pitch* pipa spiral (P) = 246 mm seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Dimensi Pipa Spiral.

Jalannya penelitian adalah sebagai berikut: air dialirkan dengan menggunakan dua buah pompa sirkulasi melewati katup pengatur. Debit aliran air (U_i) diatur mulai dari 0,397-1,191 m/s dengan *waterflow*. Udara bertekanan dari kompresor dialirkan melewati *airflow* dari 0,0199-0,11911 m/s, sehingga udara masuk melalui pipa dan terjadi *bubble* dalam aliran air yang bersirkulasi dalam pipa spiral. Temperature air yang dialirkan sebesar 27°C .

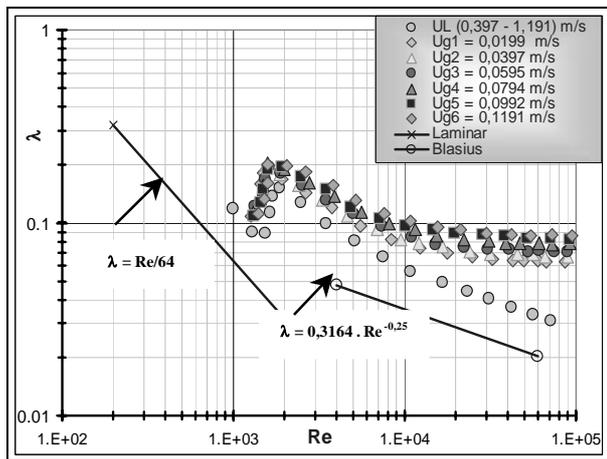
Data-data hasil pengujian dihitung dengan Persamaan 1, 2 dan 3 untuk aliran satu fasa (air tanpa injeksi udara). Sedangkan untuk aliran yang terdiri dari campuran air-udara, dihitung dengan Persamaan 4, 5 dan 6. Hasil perhitungan diplot pada grafik, yang merupakan hasil perhitungan bilangan Reynolds (Re) dan koefisien gesek (λ); dengan kecepatan aliran air (U_L) yang bervariasi dan kecepatan aliran udara (U_g) 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 PEMBAHASAN

a. Koefisien Gesek pada Pipa Spiral.

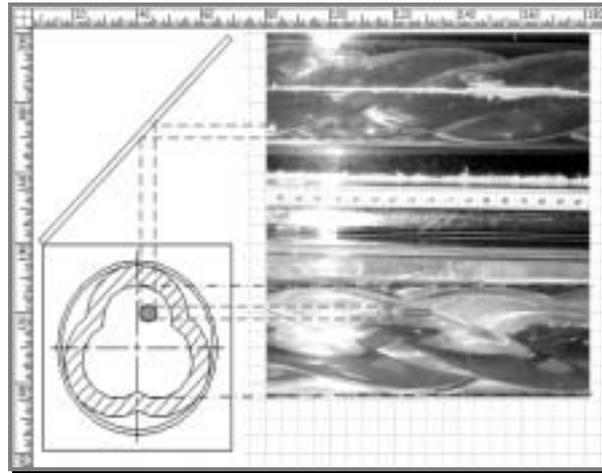
Pada Gambar 4 dapat dilihat dengan bertambahnya konsentrasi udara dari (0,0199 s/d. 0,1191) m/s tiap kenaikan tingkat U_g , plot semakin bergeser ke kanan. Hal itu berarti penambahan U_g diikuti oleh penurunan koefisien gesek (λ), yaitu pada bilangan Reynolds (Re) 1.500 sampai dengan (Re) 40.000. Aliran transisi terjadi pada rentang antara bilangan Reynolds (Re) 1.400 sampai dengan (Re) 1.500. Koefisien gesek (λ) cenderung konstan atau stabil pada Reynolds (Re) 40.000 sampai dengan 100.000 dan U_L dari (0,397 sampai dengan 1,191) m/s. Penurunan koefisien gesek (λ) terjadi pada bilangan Reynolds (Re) 1.800, dan aliran transisi terjadi antara (Re) 1.600 sampai dengan (Re) 1.700.



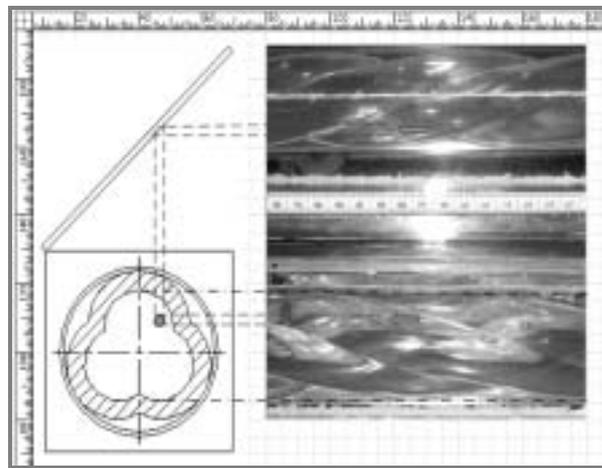
Gambar 4. Grafik Hubungan (Re - λ) dengan Penambahan Kecepatan Aliran Udara U_g dari (0,0199–0,1191) m/s dan Kecepatan Aliran Air U_L dari (0,397 – 1,191) m/s.

b. Visualisasi Gelembung Udara (*bubble*).

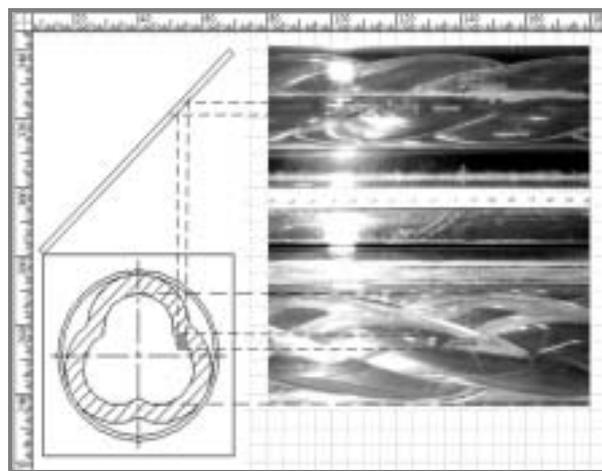
Letak posisi gelembung udara pada tiap tingkatan penambahan kecepatan aliran air pada pipa spiral, dapat dilihat pada gambar berikut:



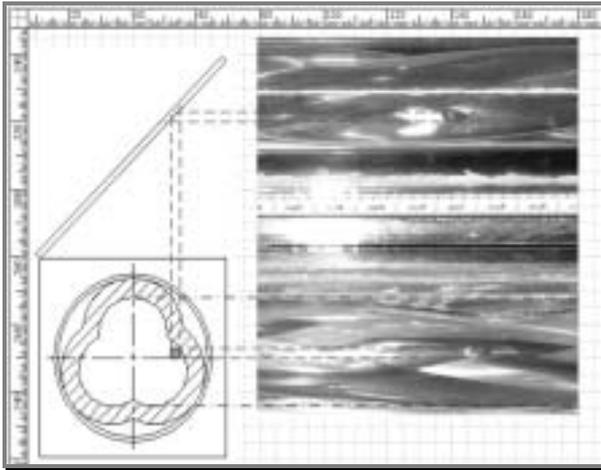
Gambar 5a. Hasil Visualisasi Letak Posisi Bubble dengan Kecepatan Air $U_L = 0,595$ m/s pada $X = 4$ mm, $Y = 10$ dan $r = 10,77$ mm



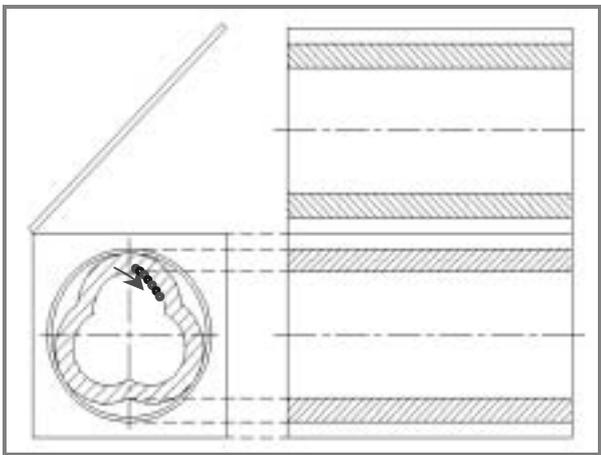
Gambar 5b. Hasil Visualisasi Letak Posisi Bubble pada Kecepatan Air $U_L = 0,794$ m/s pada $X = 6$ mm, $Y = 9$ dan $r = 10,82$ mm



Gambar 5c. Hasil Visualisasi Letak Posisi Bubble dengan Kecepatan Air $U_L = 0,992$ m/s pada $X = 13$ mm, $Y = 5$ dan $r = 13,93$ mm



Gambar 5d. Hasil Visualisasi Letak Posisi Bubble pada Kecepatan Air $U_L = 1,191$ m/s pada $X = 14$ mm, $Y = 2$ dan $r = 14,14$ mm



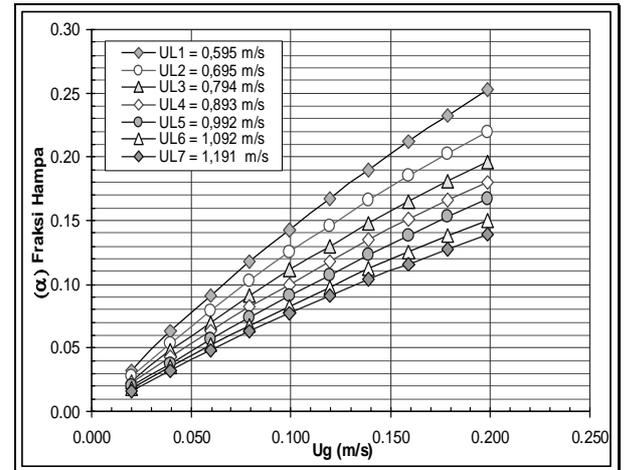
Gambar 6. Hasil Visualisasi Letak Posisi Gelembung Udara Berdasarkan Kenaikan tiap Tingkat Kecepatan Air yang Mengalir

Dari Gambar 5 dan 6 terlihat dari hasil visualisasi, bahwa dengan bertambahnya kecepatan aliran air (U_L) maka letak dan posisi butiran udara akan semakin besar pergeserannya, dan cenderung mendekati dinding pipa spiral,

- $U_{L1} = 0,595$ (m/s) pada $r_1 = 10,77$ (mm).
- $U_{L2} = 0,695$ (m/s) pada $r_2 = 10,79$ (mm).
- $U_{L3} = 0,794$ (m/s) pada $r_3 = 10,82$ (mm).
- $U_{L4} = 0,893$ (m/s) pada $r_4 = 11,80$ (mm).
- $U_{L5} = 0,992$ (m/s) pada $r_5 = 13,93$ (mm).
- $U_{L6} = 1,092$ (m/s) pada $r_6 = 14,04$ (mm).
- $U_{L7} = 1,191$ (m/s) pada $r_7 = 14,14$ (mm).

Pada rentang kecepatan air (U_L) dari 0,595 m/s sampai dengan kecepatan 1,191 m/s, seluruh letak dan posisi butiran udara berada dikuadran 1. Dengan jarak (r) butiran udara diketahui, maka

penangkapan butiran udara pada pipa spiral bisa diperoleh.



Gambar 7. Fraksi Hampa vs Kecepatan Superficial Udara dengan Penambahan Kecepatan Air (U_L) pada Pipa Spiral

Pada Gambar 7, dapat dilihat bahwa dengan peningkatan kecepatan udara (U_g), fraksi hampanya akan bertambah. Artinya besar kenaikan fraksi hampa sangat tergantung pada penambahan kecepatan air (U_L). Semakin tinggi penambahan kecepatan air maka fraksi hampa makin rendah.

KESIMPULAN

Setelah melakukan visualisasi aliran dua-fasa dan pengukuran *pressure drop* pada pipa spiral hasilnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Koefisien gesek pada aliran dua-fasa lebih besar dibandingkan data satu fase (air).
2. Aliran transisi lebih cepat terjadi pada aliran dua-fasa, yaitu pada bilangan Reynolds (Re) antara (1.600-1.700).
3. Efek penambahan variasi kecepatan udara (U_g), menyebabkan kenaikan nilai koefisien gesek.
4. Hasil visualisasi aliran dua-fasa dengan *digital camera* menunjukkan tempat kedudukan rata-rata butiran udara dipengaruhi oleh bilangan Reynolds (Re). Untuk nilai (Re) tinggi, yang diikuti kenaikan nilai jarak jari-jari (r), maka letak butiran udara mendekati dinding pipa spiral ($Re > 7 \cdot 10^4$).

NOTASI

- D_h : Diameter hidraulik pipa (m).
- \dot{m}_g : Laju aliran massa udara (kg/s).
- \dot{m}_l : Laju aliran massa air (kg/s).

- \dot{m} : Laju aliran massa campuran (kg/s).
L : Panjang karakteristik pipa (m).
Q : Debit aliran (m³/s)
Re : Bilangan Reynolds.
U : Kecepatan karakteristik (m/s).
U_g : Kecepatan aliran udara (m/s).
U_L : Kecepatan aliran air (m/s).
x : Fraksi massa aliran.
 ρ_g : Kerapatan massa udara (kg/m³).
 ρ_L : Kerapatan massa air (kg/m³).
 ρ_h : Kerapatan massa campuran (kg/m³).
 μ : Viskositas dinamik (kg/m.s).
 α_h : Fraksi kehampaan (*void fraction*) campuran.
 λ : Koefisien gesek.

DAFTAR PUSTAKA

1. Koestoer, R. A., "Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis", Cetakan Pertama, Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.
2. Monji, H., Matsui, G. and Saito, T., "Pressure Drop Reduction of Liquid - Particles Two-Phase Flow with Nearly Equal Density", Proceeding of the 2nd International Conf. on Multiphase Flow, Kyoto, Japan, 1995.
3. Watanabe, K., "Hydraulic and Pneumatic Conveyances of Solid Particles by a Spiral Tube" The fourth Korea - Japan Powder Technology Seminar, 1991, pp. 117 - 124.
4. Munson, Bruce R., Young, Donald F. and Okiishi, Theodore H., "Fundamentals of Fluid Mechanics", fourth edition, John Willey & Sons, Inc., 2002.
5. G. W. Govier and K. Aziz, "The Flow of Complex Mixtures in Pipe" original edition, Robert E. Krieger Publising Company Malabar, Florida, 1972.
6. G J. Sharpe, "Solving Problems in Fluid Dynamics", Copublished in the United State With John Wiley & Sons Inc, 1994., Jakarta, 1994.