

**M6-019 Simulasi Aliran Dua Fasa Air-Udara (*Plug*) Searah Pada Pipa Horizontal**

**Khasani dan Arief Setiawan**

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta, 55281, Indonesia  
Telp: +62-274-521673, FAX: +62-274-521673, E-mail: khasani@ugm.ac.id

**ABSTRAK**

*Simulasi aliran dua fasa air-udara (plug) untuk mendeskripsikan fenomena aliran tersebut yang sering dijumpai di dalam dunia industri telah dilakukan dengan menggunakan metode CFD. Simulasi aliran plug ini dilakukan dengan membuat model 2D, kemudian dikaji mekanisme terjadinya pola aliran tersebut termasuk perubahan sifat – sifat fisis yang menyertainya. Penelitian ini dilakukan dengan membuat model multifasa 2D dan menentukan parameter – parameter yang terkait dengan menggunakan FLUENT. Model untuk simulasi aliran plug berbentuk saluran pipa berdiameter 23,9 mm dengan panjang 1 m. Kondisi aliran diasumsikan ideal dan tidak ada slip pada dinding pipa. Parameter-parameter yang disimulasikan meliputi distribusi fraksi volume, kecepatan, tekanan dan turbulensi untuk pola aliran ini. Penelitian ini juga mempelajari pengaruh perubahan fraksi volume terhadap penurunan tekanan yang terjadi. Dari simulasi ini dapat disimpulkan bahwa fraksi volume akan bervariasi sepanjang pipa tergantung pada pola aliran yang terjadi. Pada aliran plug ini, fraksi volume rata – rata udara cenderung naik sepanjang pipa. Sebaliknya, tekanan statik aliran tersebut akan turun. Penurunan tekanan pada aliran plug tampak jelas pada fraksi volume 0,2.*

*Kata kunci: aliran dua fasa, plug, horizontal, FLUENT*

**1. Pendahuluan**

Aliran dua fasa 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. Ketika gas dan air mengalir dalam sebuah pipa, kedua fasa ini cenderung terdistribusi dalam berbagai macam konfigurasi. Karakteristik dari distribusi ini disebut dengan pola aliran. Banyak penelitian yang telah dilakukan yang menyelidiki tentang penentuan dari pola aliran untuk berbagai macam pasangan fluida, bentuk pipa/saluran, dan kemiringan (Mandhane et al., 1974; Taitel and Duckler, 1976; Taitel, 1986; Barnea, 1987).

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, dan 3) terjadinya kapasitas aliran yang semakin kecil pada daerah yang jauh dari sumber karena hambatan gesek pada aliran yang semakin membesar.

Visualisasi merupakan salah satu cara untuk bisa melihat fenomena yang terjadi pada suatu aliran. Visualisasi aliran *plug* bisa didapatkan salah satunya dengan pendekatan model simulasi numerik. Metode ini dilakukan dengan menurunkan persamaan-persamaan atur (kontinuitas, momentum, energi, dan spesies) dan menyelesaiakannya dengan metode numerik. Diharapkan dari simulasi model aliran ini bisa diamati dan dilakukan prediksi terhadap aliran tersebut sehingga bisa mengetahui karakteristiknya. Penggunaan model simulasi dengan teknik CFD (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan persoalan yang kini banyak dikembangkan, selain lebih murah, hasil yang didapatkan juga lebih lengkap dan detil.

Banyak industri-industri besar dunia mulai banyak menggabungkan metode komputasi numerik dengan eksperimen untuk mengembangkan produk dengan lebih baik dan efisien, hasilnya bisa dijadikan referensi dalam pembuatan prototype/produk (Davidson, 2002). Penelitian ini mencoba untuk memberikan analisis alternatif dan sekaligus memberikan informasi tambahan terhadap fenomena-fenomena yang terjadi pada aliran *plug* yang terkadang cukup sulit didapatkan dalam eksperimen, disamping itu juga memberikan informasi tentang keakuratan data simulasi numerik dibandingkan dengan penelitian menggunakan eksperimen. Oleh karena itu simulasi mekanisme aliran *plug* sangat penting dalam memahami fenomena aliran dua fasa pada pipa horizontal khususnya dalam memprediksi terjadinya *pressure drop*. Prediksi mekanisme fisis yang terjadi pada aliran *plug* dapat meningkatkan keakuratan rancangan.

## 2. Tujuan

Studi ini akan mempelajari mekanisme terjadiya aliran *plug* pada aliran pipa horizontal dengan mensimulasikan fenomena tersebut menggunakan *software* FLUENT. Dalam aliran multi fasa yang terjadi diasumsikan sebagai aliran gas (udara) dan likuid (air) dengan sifat-sifat standar dengan suhu 27°C dan pengaturan kecepatan disesuaikan dengan *flow map* Mandhane sebagai *flow map* utama.

Adapun tujuan khusus dari studi ini adalah sebagai berikut:

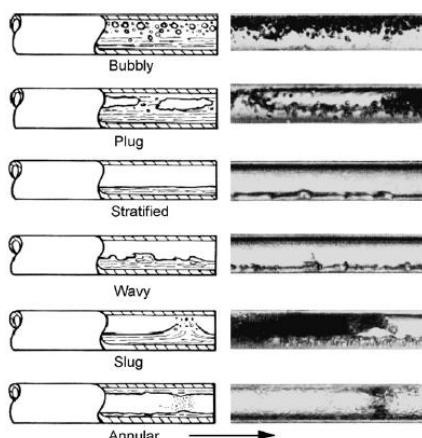
1. Membuat model komputasi 2D untuk aliran dua fasa air-udara yang berpola *plug* searah pada pipa horizontal dan mengetahui karakteristik berupa distribusi kecepatan, fraksi hampa, dan *pressure drop* untuk jenis aliran *plug*.
2. Mengkaji mekanisme terjadinya aliran *plug* pada aliran pipa horizontal dengan mensimulasikan dengan menggunakan FLUENT.
3. Mengkaji perubahan sifat – sifat fisis yang terjadi ketika terjadi *plug flow* pada aliran pipa horizontal.

## 3. Landasan Teori

Aliran dua fasa pada pipa horizontal sudah banyak diteliti. Kesulitan terbesar dalam memodelkan jenis aliran semacam ini adalah penentuan distribusi dari likuid dan gas dalam saluran tertentu. Hal ini karena pentingnya distribusi ini terkait dengan transfer panas dan *pressure drop*.

Dengan menggunakan CFD, kesulitan pendistribusian semacam ini diharapkan dapat diminimalkan. Meskipun demikian, kita masih perlu menggunakan *flow map* untuk memprediksi pola aliran yang terbentuk dengan kondisi yang diberikan dan membandingkannya dengan hasil menggunakan CFD. Pada pola aliran dalam pipa horizontal, ada efek kekuatan gravitasi untuk menggantikan cairan yang lebih berat mendekati pipa bagian bawah.

Beberapa pola aliran yang dapat bertambah karena efek di atas, di mana aliran tersebut dibagi menjadi dua lapisan diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola aliran pada pipa horizontal.

Gambar 1 di atas menunjukkan berbagai macam pola aliran yang terbentuk pada *co-current two-phase flow* pada pipa horizontal dimana didalamnya mengalir gas dan likuid.  $V_L$  menunjukkan kecepatan superfisial dari likuid sedangkan  $V_G$  menunjukkan kecepatan superfisial dari gas. Pertama – tama kita anggap bahwa kecepatan likuid  $V_L$  besar. Dari sini kita lihat bahwa aliran yang terbentuk didominasi oleh likuid. Ini berarti rasio  $V_L/V_G$  besar. Pada kasus ini, gas hadir dalam bentuk *bubble* kecil yang akan naik ke bagian atas dari pipa seperti terlihat pada gambar di bagian kiri. Ketika kecepatan gas dinaikkan, *bubble* membesar kemudian akan membentuk *plug*.

Pada *plug flow*, kecepatan dari fluida diasumsikan konstan sepanjang penampang melintang pipa yang tegak lurus sumbu pipa. *Plug flow* model mengasumsikan tidak ada lapis batas di dekat dinding pipa bagian dalam. Permodelan *plug flow* memiliki banyak aplikasi contohnya pada reaktor kimia yang sangat menghindari timbulnya *plug flow* selama proses *mixing*.

Pada aliran horizontal, *bubble* tumbuh di bagian atas pipa dan mengisi keseluruhan saluran untuk membentuk *plug flow*. Ketika *bubble* mengisi seluruh saluran, *bubble* ini akan mulai berekspansi dengan mendorong likuid yang ada di depannya. Ekspansi ini akan membentuk *plug*. Ukuran dari *plug* tergantung pada keadaan aliran di bagian atas dan bagian bawah pipa. Aliran *bubble* secara umum akan pecah pada fraksi volume yang lebih besar dan transisi bentuk *bubbly flow* menjadi *plug flow* terjadi pada fraksi volume 0,3 (Whalley, 1987).

Fraksi volume untuk aliran horizontal dengan bilangan Reynolds lebih besar dari 3000 dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$\alpha = 0.84 \frac{Q_g}{Q_\ell + Q_g} \quad (1)$$

di mana  $\alpha$  adalah fraksi hampa,  $Q_g$  adalah laju aliran volume fasa gas, dan  $Q_\ell$  adalah laju aliran volume fasa cairan.

Sedangkan penurunan tekanan dapat dihitung dengan menggunakan cara *single component flow*. Secara umum untuk semua bilangan Reynolds, penurunan tekanan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$f_{TP} = 0.63 \left[ \frac{GxD}{\mu} \right]^{-0.5} \quad (2)$$

$$\Delta P = \frac{2xf_{TP}xG^2xL}{\rho xD} \quad (3)$$

di mana  $\Delta P$  adalah penurunan tekanan,  $f_{TP}$  adalah koefisien gesek untuk aliran dua fasa,  $G$  adalah laju aliran massa total per satuan luas,  $\mu$  adalah viskositas dinamik rata-rata,  $D$  adalah diameter pipa,  $L$  adalah panjang pipa, dan  $\rho$  adalah massa jenis rata-rata.

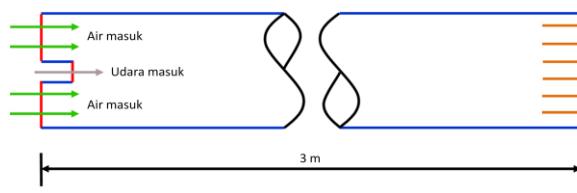
## 4. Metodologi

### 4.1 Software FLUENT

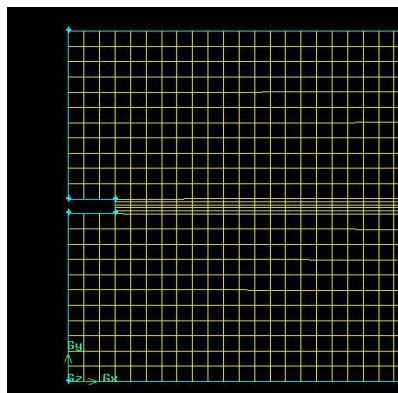
FLUENT (versi 6.2) adalah salah satu *software* permodelan aliran fluida yang digunakan untuk memprediksi suatu aliran yang terjadi baik satu fasa maupun dua fasa. *Software* ini dapat menyelesaikan berbagai macam masalah terkait dengan pola aliran dan perpindahan panas. *Software* ini dapat menyelesaikan *Reynolds averaged Navier-Stokes equations* pada sebuah *mesh* volume tertentu. Persamaan Navier-Stokes menunjukkan masa, momentum, dan persamaan kekekalan energi untuk aliran kontinyu fluida. *Turbulence modeling* sangat dibutuhkan untuk menghitung atau menentukan difusi turbulen dari momentum dan energi.

### 4.2 Model

Model yang digunakan dalam studi ini diperlihatkan pada Gambar 2, sedangkan mesh dari model yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar yang dibuat dalam gambit berukuran panjang 3000 mm dan lebar 23,9 mm dengan diameter saluran masuk udara sebesar 1 mm dengan panjang 3 mm. Sedangkan *mesh* dibuat dengan interval size 1 dan dengan elemen *quad* dan tipe *submap*. Pemilihan pengaturan semacam ini menghasilkan 167094 *mesh*. Untuk lebih memperjelas fenomena yang terjadi di sekitar saluran masuk fluida, *mesh* di sekitar saluran masuk udara bisa dibuat lebih rapat.



Gambar 2. Model aliran dan syarat batas.



Gambar 3. Mesh model aliran dua fasa.

#### 4.3 Syarat Batas dan Parameter Simulasi

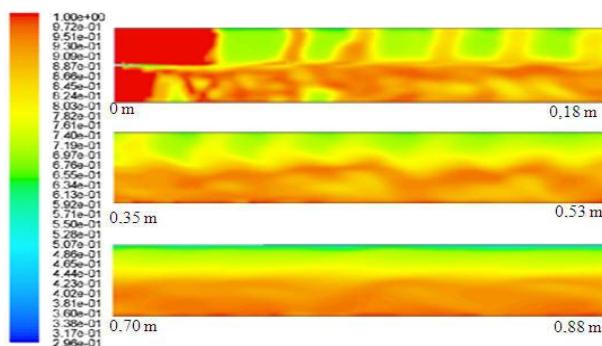
Dalam simulasi ini, bagian pipa tempat masuknya air diset sebagai *velocity inlet* dengan nama *air\_masuk* dan bagian pipa tempat masuknya udara diset sebagai *velocity inlet* dengan nama *udara\_masuk*. Bagian dinding pipa didefinisikan sebagai *wall* dan bagian keluaran pipa didefinisikan sebagai *outflow*. Bagian keluaran didefinisikan sebagai *outflow* demi keberhasilan permodelan aliran dua fasa yang mewajibkan jenis *boundary condition* ini untuk aliran *plug*. Beberapa nilai parameter yang digunakan dan kondisi syarat batas dinyatakan sebagai berikut:

- Temperatur udara & air dianggap 27°C
- Diameter pipa horizontal 23,9 mm dengan panjang 3 m
- Kecepatan udara 0,1 m/s dan kecepatan air 0,2 m/s
- Tekanan udara luar 101325 Pa
- Gaya gravitasi 9,8 m/s<sup>2</sup>
- *No slip condition* pada dinding pipa
  - Fraksi volume udara 0,1.

## 5. Hasil dan Pembahasan

### 5.1 Pembentukan Pola Aliran

Dengan kecepatan udara sebesar 0,1 m/s dan kecepatan air sebesar 0,2 m/s, ternyata pola aliran *plug* akan terlihat setelah mencapai jarak sebesar 3,9 cm dari inlet pipa. Aliran *plug* mulai berubah menjadi aliran *stratified* seiring makin jauhnya lintasan yang dilewati. Perubahan dari aliran *plug* menjadi aliran peralihan *plug-stratified* terjadi pada jarak 30 - 40 cm dari inlet pipa. Pola aliran *plug* hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Proses terbentuknya pola aliran dalam pipa.

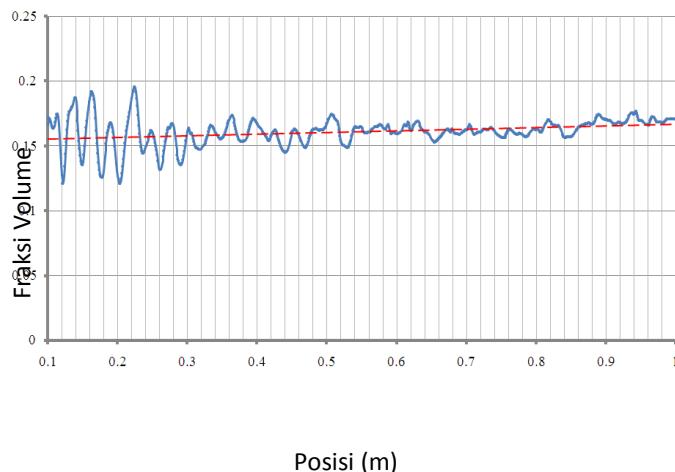
Aliran *plug* perlahan-lahan berubah menjadi aliran *stratified*. Perubahan pola aliran ini diakibatkan karena penurunan kecepatan air dalam pipa dari 0,2 m/s menjadi 0,16 m/s yang merupakan batas peralihan aliran *plug* dan *stratified* pada peta pola aliran Mandhane.

### 5.2 Fraksi Volume

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa fraksi volume rata-rata ketika terjadi aliran *plug* adalah 0,28. Ternyata fraksi volume akan berubah-ubah tergantung jenis pola aliran yang dihasilkan. Syarat batas untuk simulasi ini adalah dengan memberikan nilai fraksi volume sebesar 0,1 di daerah inlet, tetapi saat membentuk aliran *plug*, fraksi volumenya akan naik. Perbedaan fraksi volume ini akan berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan. Fraksi volume rata-rata sepanjang pipa diperlihatkan pada Gambar 5 berikut.

# SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN (SNTTM) - VIII

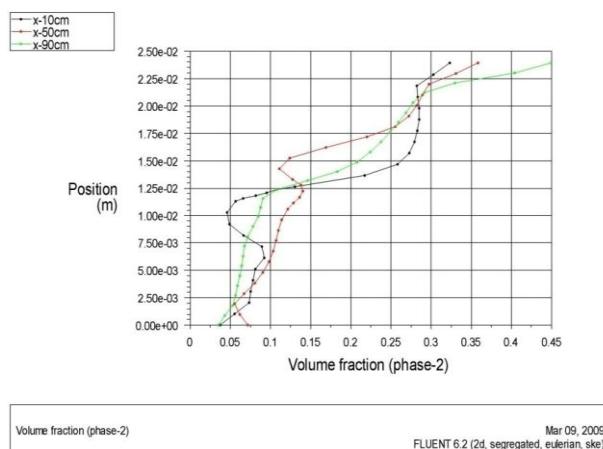
*Universitas Diponegoro, Semarang 11-14 Agustus 2009*



Gambar 5. Fraksi volume rata-rata air sepanjang pipa.

Pada Gambar 5 tampak bahwa kecenderungan fraksi volume akan naik sampai sekitar 0,17. Fluktuasi yang besar terlihat pada jarak 0,1 m sampai 0,4 m dari inlet pipa dikarenakan adanya pola aliran *plug* yang terbentuk. Setelah 0,4 m dari inlet adalah daerah peralihan dari aliran *plug* ke *stratified* sampai akhirnya benar-benar menjadi aliran *stratified*. Adanya fluktuasi dengan amplitudo yang besar inilah yang menyebabkan adanya fluktuasi tekanan pada aliran *plug* ini yang menjadi penyebab utama terjadinya penurunan tekanan yang tinggi pada pipa.

Distribusi fraksi volume pada penampang melintang pipa berdiameter 23,9 mm ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.

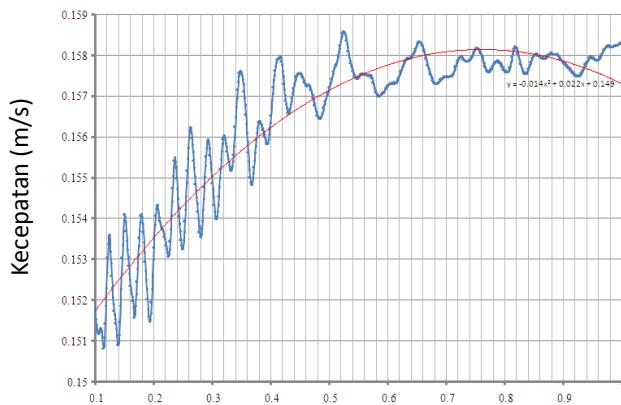


Gambar 6. Fraksi volume udara pada penampang melintang pipa.

Gambar 6 menunjukkan distribusi fraksi volume pada jarak 0,1 m, 0,5 m, dan 0,9 m dari inlet pipa. Tampak bahwa semakin menjauhi inlet pipa bagian atas pipa makin didominasi oleh udara dan sebaliknya yang terjadi pada bagian bawah pipa. Hal ini disebabkan oleh perbedaan massa jenis antara udara dan air sehingga akibat adanya efek gravitasi menyebabkan udara cenderung mendominasi bagian atas akibat adanya pengaruh gaya apung.

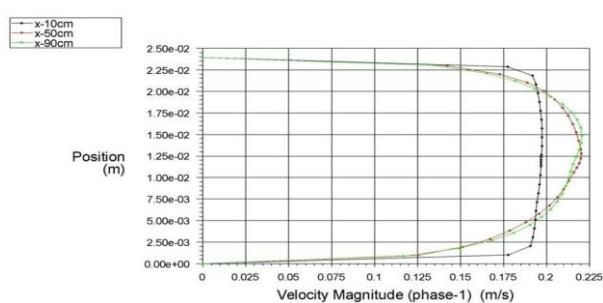
### 5.3 Kecepatan

Pada *homogeneous flow model*, kecepatan udara dan air dianggap sama. Gambar 7 menunjukkan kecepatan rata-rata air-udara pada beberapa posisi di sepanjang pipa. Tampak bahwa kecepatan fluida bertambah besar seiring jauhnya lintasan yang ditempuh.



Gambar 7. Kecepatan rata-rata air-udara pada beberapa posisi di sepanjang pipa.

Gambar 8 menunjukkan distribusi kecepatan air pada beberapa posisi yaitu 10 cm, 50 cm, dan 90 cm dari inlet pipa.

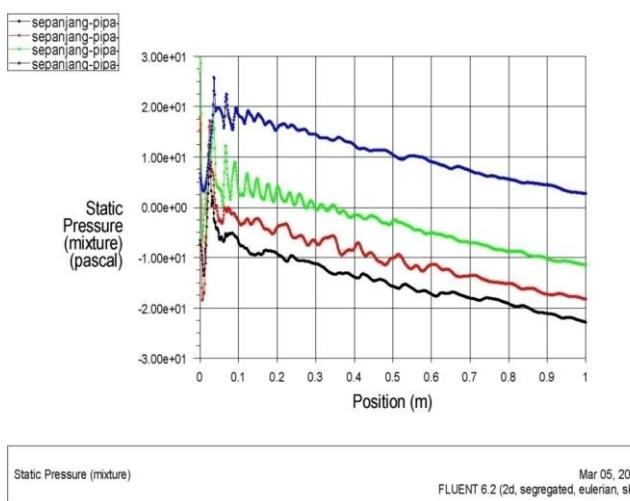


Gambar 8. Profil kecepatan air pada penampang pipa pada beberapa lokasi sepanjang pipa.

Dari Gambar 8 tampak bahwa pada jarak 10 cm dari inlet pipa, distribusi kecepatan air pada penampang melintang pipa relatif sama antara bagian atas penampang melintang pipa sampai bagian bawah pipa. Namun karena kondisi dinding pipa yang dibuat *no slip*, maka kecepatan di dinding akan berkurang yang akan mengakibatkan munculnya profil aliran seperti terlihat pada jarak 50 cm dan 90 cm dari inlet pipa dimana kondisi aliran *fully developed* sudah tercapai.

## 5.4 Tekanan

Tekanan merupakan salah satu parameter penting dalam aliran dua fasa. Hal ini disebabkan karena pada umumnya dalam sebuah sistem yang menyertakan banyak peralatan, *pressure drop* haruslah dibuat seminimum mungkin. Gambar 9 menunjukkan tekanan statik fasa campuran di beberapa posisi sepanjang pipa.



Gambar 9. Tekanan statik fasa campuran pada berbagai posisi sepanjang pipa.

Dari Gambar 9 terlihat bahwa tekanan statik akan turun seiring bertambah jauhnya aliran fluida dari inlet pipa. Jika kita bandingkan penurunan tekanan statik dari beberapa ketinggian dihitung dari dasar pipa, maka terlihat bahwa penurunan tekanan statik pada tiap ketinggian mempunyai gradien yang sama.

Perhitungan penurunan tekanan secara teoritik menggunakan Persamaan (3) menghasilkan nilai sebesar  $15,37 \times L$  Pa/m. Jika dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan FLUENT, maka kedua hasil tersebut akan saling mendekati.

## 6. Kesimpulan

Dari uraian pada bagian-bagian terdahulu, maka untuk sistem yang sedang ditinjau dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut untuk aliran *plug*:

- Kecepatan air dan udara akan bertambah seiring dengan menjauhnya dari inlet pipa.
- Fraksi volume rata-rata udara mengalami penurunan di sepanjang pipa.

- Tekanan statik turun di sepanjang pipa dikarenakan perubahan fraksi volume yang semakin meningkat.

## Daftar Pustaka

- [1] Alves, G.E., *Cocurrent Liquid-Gas Flow in a Pipeline Contractor*, Chem Engng Prog, **50**, (1954) 449-456.
- [2] Baker, D., *Simultaneous Flow of Oil and Gas*, Oil and Gas J, **53**, (1954) 183-195.
- [3] Barnea, D., Shoham, O., Taitel, Y., and Dukler, A.E., *Flow Pattern Transition for Gas - Liquid Flow in Horizontal and Inclined Pipes, Comparison of Experimental Data with Theory*, Int. J. Multiphase Flow, **6**, (1980) 217-226.
- [4] Barnea, D., *A unified model for predicting flow-pattern transitions for the whole range of pipe inclinations*, Int. J. Multiphase Flow, **13**, (1987) 1-12.
- [5] Barnea, D. and Taitel, Y., *A model for slug length distribution in gas liquid slug flow*, Int. J. Multiphase Flow, **19**, (1993) 829-838.
- [6] Bergelin, O.P. and Gazley, C., *Cocurrent Gas-Liquid Flow, I. Flow in Horizontal Tubes*, Proc. Heat Transfer and Fluid Mech. Inst., (1949) pp. 5-18, Berkeley CA.
- [7] Biesheuvel, A. and Gorissen, W. C. M., *Void fraction disturbances in a uniform bubbly fluid*, Int. J. Multiphase Flow, **16**, (1990) 211-231.
- [8] Chen, H. and Marshall, J.S., *A Lagrangian Vorticity Method for Two-Phase Particulate Flows With Two-Way Phase Coupling*, Journal of Computational Physics, **148**, (1999) 169-198.
- [9] Hughmark, G.A., *Pressure Drop in Horizontal and Vertical Cocurrent Gas-Liquid Flow*, I&EC Fundamentals, **2**, (1963) 315.
- [10] J.N. Al-Sheikh, Saunders, D.E., and R.S. Brodkey, *Prediction of Flow Patterns in Horizontal Two-Phase Pipe Flow*, Can J Chem Engng, **48**, (1970) 21-29.
- [11] Moalem, D. and Sideman, S., *The Effect of Motion on Bubble Collapse*, Int. J. Heat and Mass Trans., **16**, (1973) 2321-2330.
- [12] Schicht, H.H., *Flow Patterns for Adiabatic Two-Phase Flow of Water and Air Within a Horizontal Tube*, Verfahrenstecknik, (1969) 153-172.

## SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN (SNTTM) - VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-14 Agustus 2009*

- [13] Taitel, Y. and Dukler, A.E., *A Model for Predicting Flow Regime Transitions in Horizontal and near Horizontal Gas-Liquid Flow*, AIChE J., **22**, (1976) 47-55.
- [14] Vallée, C., Höhne, T., Prasser, M., and & Sühnel, T., *Experimental investigation and CFD simulation of horizontal stratified two-phase flow phenomena*, Nuclear Engineering and Design, **238/3**, (2008) 637-646.
- [15] Wallis, G.B., *One Dimensional Two Phase Flow*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1969.