

TUGAS AKHIR
SIMULASI *CFD* UNTUK FLUKTUASI TEKANAN PADA KONDENSASI *STEAM*
PADA PIPA KONSENTRIK HORIZONTAL DENGAN PENDINGINAN SEARAH
DIDALAM RUANG ANULUS

Haris Setiawan

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Email : harissetiawan287@gmail.com

Abstract

Pola aliran menjadi poin penting dalam studi kasus aliran dua fasa, misal pada fasa cair-gas. Sebuah eksperimen pola aliran dua fasa pada peristiwa kondensasi aliran *steam* dengan pendinginan dari luar searah berdasarkan fluktuasi beda tekanan pada pipa anulus horisontal dilakukan dengan memvariasikan kecepatan superfisial *steam*.

Penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan menggunakan *software Ansys Fluent 15*. Geometri dalam penelitian ini adalah sebuah pipa konsentrik dengan bagian dalam dari bahan tembaga ($d_{in} = 17,2$ mm, $d_o = 19$ mm), dan bagian luar dari bahan besi galvanis ($d_{in} = 108,3$ mm, $d_o = 114,3$ mm), dan panjang pipa anulus 1,6 m. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan superfisial uap mulai dari $J_G = 0,1409$ m/s sampai $J_G = 1,8620$ m/s yang diukur pada posisi aksial untuk posisi atas, samping, dan bawah dengan jarak 10 cm, 30 cm, 55 cm, 100 cm, dan 150 cm.

Hasil penelitian menunjukkan distribusi tekanan membentuk pola *wavy*. Tekanan pada posisi atas dan bawah mengalami penurunan tekanan saat menuju sisi outlet, sedangkan pada posisi samping tekanannya berfluktuasi. Semakin tinggi nilai kecepatan superfisial *steam* maka tekanan pada posisi samping akan semakin meningkat.

Kata kunci : Ansys Fluent, Aliran Fluida, Komputasi Dinamika Fluida, Kondensasi.

1. Pendahuluan

Aliran fluida merupakan fenomena yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Aplikasi dari ilmu mekanika fluida ini memiliki peran penting dalam bidang industri, pertanian, kedokteran, dan lain sebagainya. Dalam bidang industri misalnya, ilmu mekanika fluida berperan penting dalam perancangan sebuah sistem perpipaan.

Setiap aliran fluida berpotensi terjadinya sebuah fenomena *water hammer* yang disebabkan oleh berbagai macam hal. Dalam proses perancangan

sistem perpipaan diperlukan perhitungan yang tepat guna menghindari kemungkinan buruk seperti halnya fenomena *water hammer* ini.

Dewasa ini, terdapat metode berbasis sistem komputer yang mampu melakukan suatu analisa terhadap fenomena aliran fluida. Sehingga kemungkinan buruk yang terjadi dalam suatu sistem perpipaan seperti halnya fenomena *water hammer* dapat dihindari karena sebelum sistem perpipaan dirancang dapat disimulasikan terlebih dahulu sehingga pola yang nantinya akan

terjadi dalam sistem tersebut dapat diketahui.

Computational Fluid Dynamic (CFD) sangat cocok digunakan untuk melakukan analisa terhadap sebuah sistem yang rumit dan sulit dipecahkan dengan perhitungan manual. Dengan kelebihan tersebut CFD sering digunakan untuk melakukan analisa terhadap suatu pola sebuah sistem. Adapun *software* CFD yang sering digunakan adalah FLUENT[®], XFlow, dll.

Dalam penelitian ini dilakukan analisa terhadap suatu proses aliran fluida dengan pendinginan searah pada pipa anulus horisontal menggunakan aplikasi CFD Ansys FLUENT[®] 15 untuk mendapatkan profil distribusi tekanan dan grafik distribusi tekanan.

2. Metode Penelitian

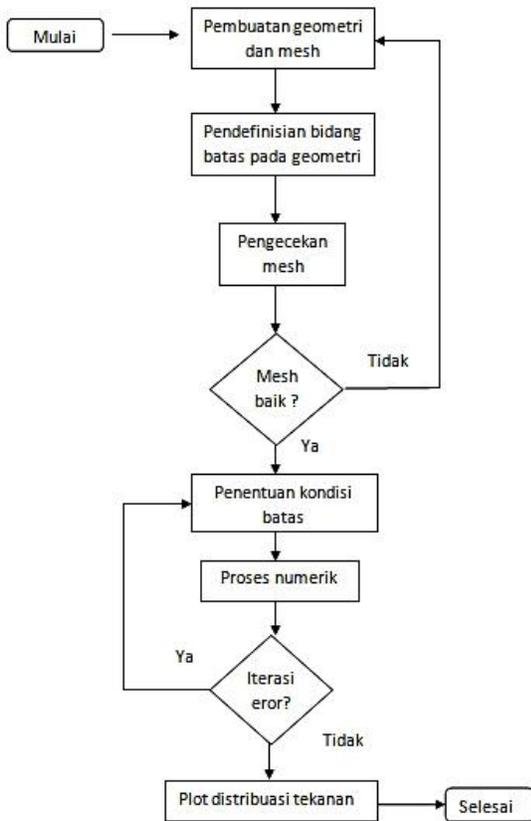


Diagram alir proses simulasi menggunakan Ansys Fluent[®] 15

Proses penelitian berbasis *modeling* menggunakan aplikasi CFD Ansys Fluent 15 ini pada dasarnya dibagi menjadi 3 tahapan : *Pre-Processing*, *Processing*, dan *Post-Processing*.

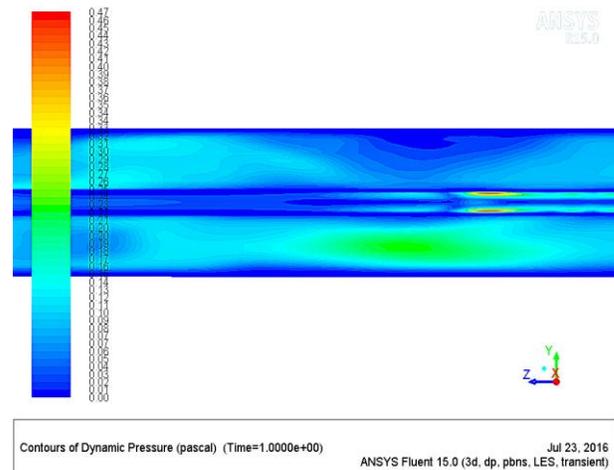
Pre-Processing meliputi pembuatan geometri dan *meshing*, pengidentifikasian batas pada geometri, pengecekan *mesh*. *Processing* meliputi penentuan kondisi batas, proses numerik, dan iterasi. *Post-Processing* meliputi plot distribusi tekanan dan temperatur, dll.

Penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan menggunakan *software* Ansys Fluent 15. Geometri dalam penelitian ini adalah sebuah pipa anulus dengan bagian dalam dari bahan tembaga ($d_{in} = 17.2$ mm, $d_0 = 19$ mm), dan bagian luar dari bahan besi galvanis ($d_{in} = 108.3$ mm, $d_0 = 114.3$ mm), dan panjang pipa anulus 1.6 m. Penelitian dilakukan dengan varisasi kecepatan superfisial uap mulai dari $J_G = 0.1409$ m/s sampai $J_G = 1.8620$ m/s.

3. Hasil dan Pembahasan

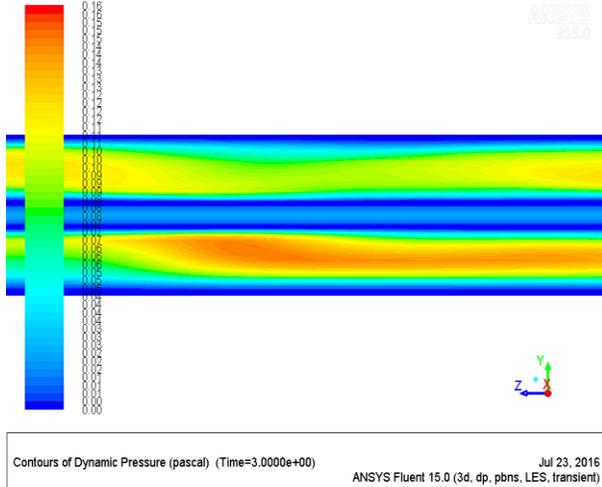
3.1 Hasil Simulasi

a) Aliran Dengan $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s

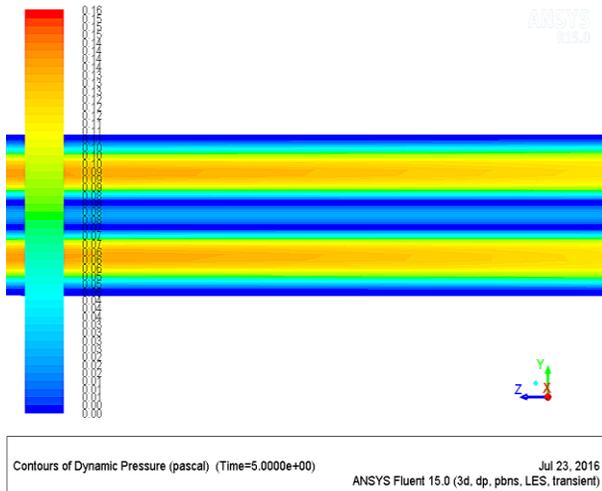


Gambar 3.1 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s saat 1 detik

Pada detik pertama terlihat fluktuasi perbedaan tekanan pada sisi inlet dan outlet, pada sisi inlet tekanan lebih tinggi dan pada sisi yang mengarah ke outlet tekanan semakin rendah.



Gambar 3.2 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s saat 3 detik



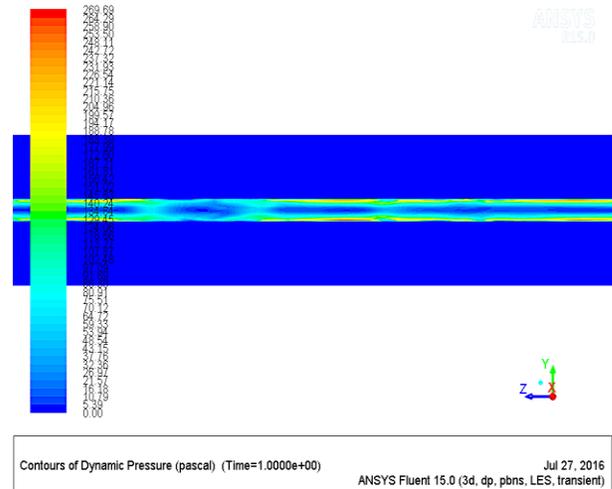
Gambar 3.3 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s saat 5 detik

Simulasi dengan nilai $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s menunjukkan distribusi tekanan membentuk cincin. Tekanan pada posisi yang dekat dengan dinding lebih rendah dibandingkan dengan bagian tengah, ditunjukkan dengan Gambar 3.3. Pada Gambar 3.3 dijelaskan bahwa tekanan berfluktuasi sangat kecil sesuai

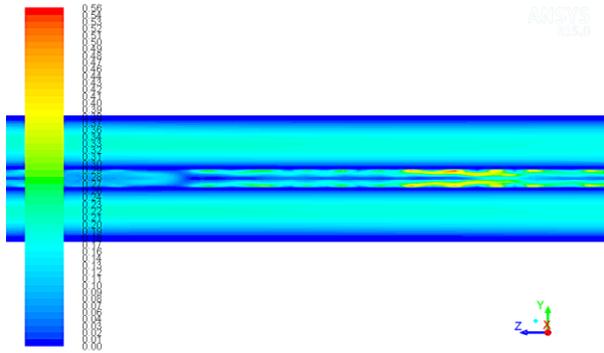
dengan kondisi *Steam* pada Gambar 3.3 yang membentuk garis lurus. Cairan kondensat dibagian bawah membentuk lapisan yang teratur dengan ketebalan tertentu.

Ketebalan dari lapisan cairan kondensat akan mempengaruhi bentuk pola aliran. Jika Lapisan cairan kondensat yang terbentuk masih tipis maka aliran *Steam* tidak akan mengalami gangguan yang berarti dan tetap berada pada aliran satu fasa. Berbeda halnya bila lapisan cairan kondensat semakin tebal, hal tersebut akan membuat aliran *Steam* terganggu karena alirannya menabrak cairan kondensat dan terbentuklah pola aliran *wavy*. Bila ketebalan cairan kondensat semakin bertambah maka akan tertabrak oleh aliran *Steam* dan terdorong menuju sisi *outlet* dan menyebabkan *slug* yang menginisiasikan terjadinya *water hammer*.

b) Aliran Dengan $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s

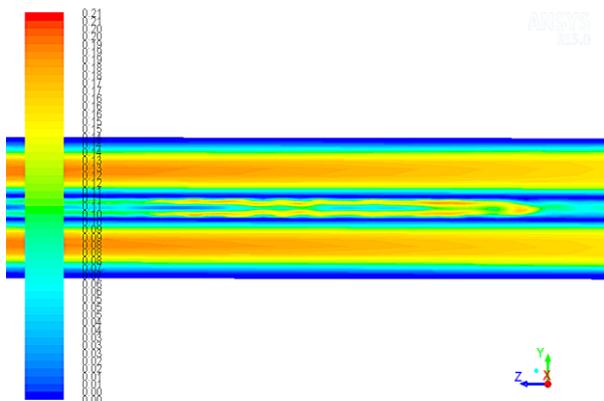


Gambar 3.4 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s saat 1 detik



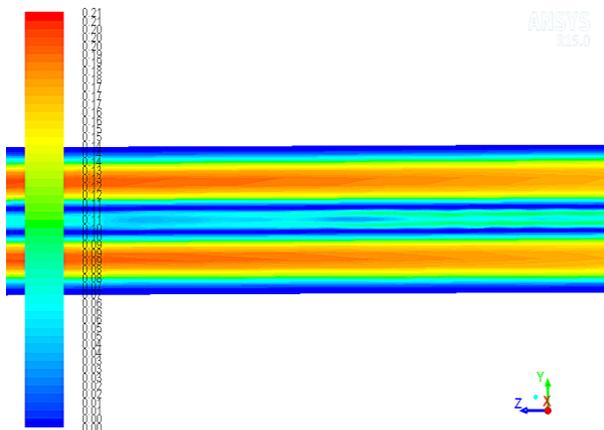
Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=3.0000e+00) Jul 27, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, dp, pbns, LES, transient)

Gambar 3.5 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s saat 3 detik



Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=5.0000e+00) Jul 27, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, dp, pbns, LES, transient)

Gambar 3.6 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s saat 5 detik

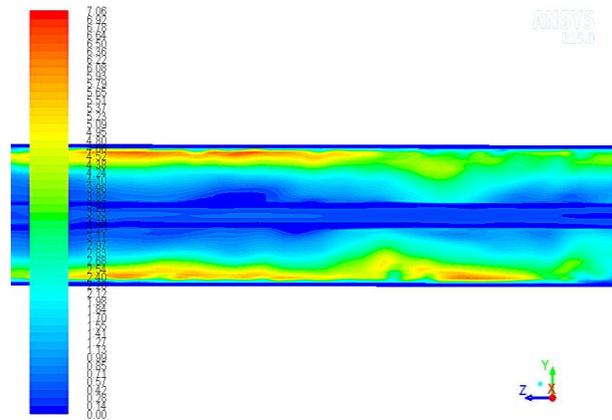


Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=7.0000e+00) Jul 27, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, dp, pbns, LES, transient)

Gambar 3.7 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s saat 7 detik

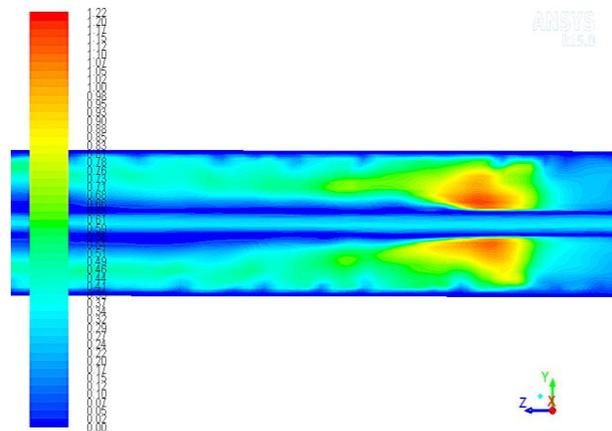
Berdasarkan yang ditunjukkan oleh Gambar 3.7 akibat bertambahnya kecepatan superfisial *Steam* dan air menjadi $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s distribusi tekanannya membentuk *wavy*.

c) Aliran Dengan $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s



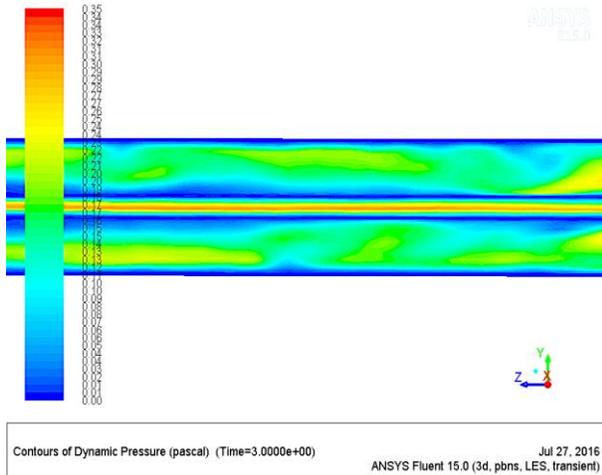
Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=1.0000e+00) Jul 27, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, pbns, LES, transient)

Gambar 3.8 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s saat 1 detik

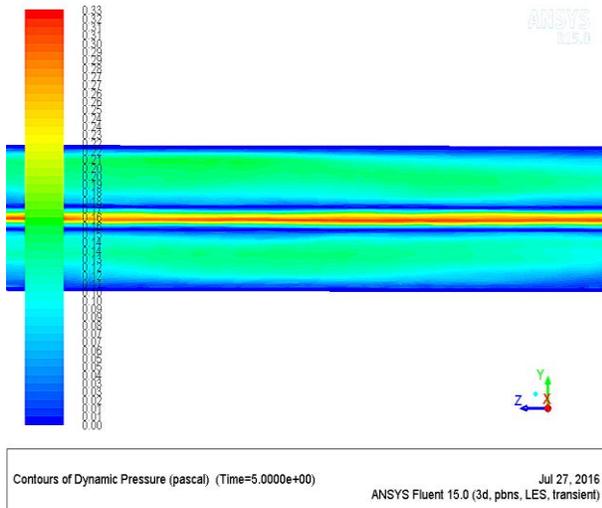


Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=2.0000e+00) Jul 27, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, pbns, LES, transient)

Gambar 3.9 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s saat 2 detik



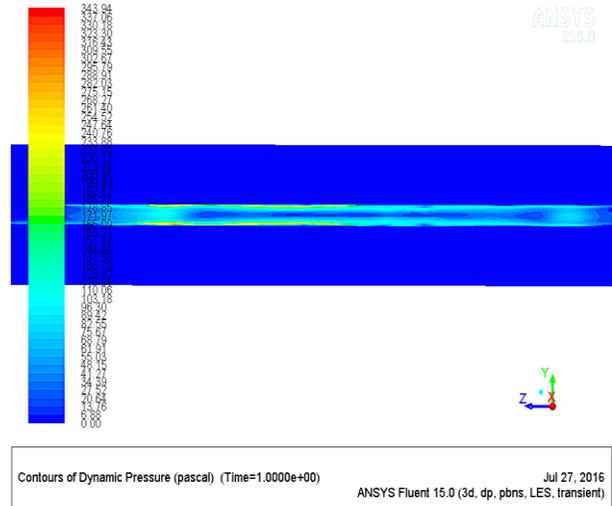
Gambar 3.10 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s saat 3 detik



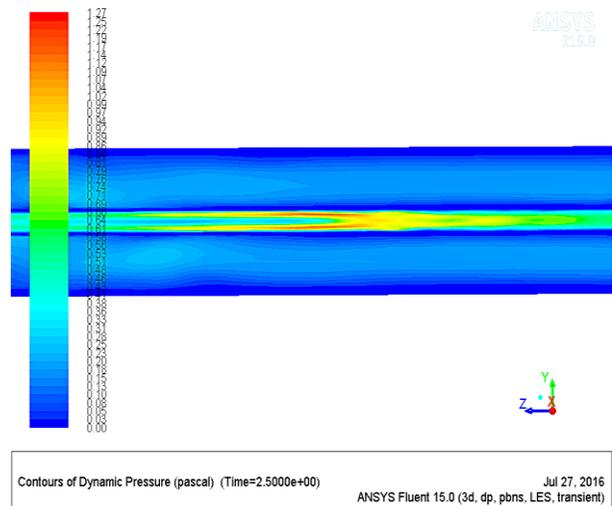
Gambar 3.11 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s saat 5 detik

Pada Gambar 3.11 ditunjukkan hasil simulasi pada detik ke-5 kondisi distribusi tekanan *steam* terlihat membentuk pola *wavy*. Pola *wavy* terbentuk dikarenakan oleh lapisan cairan kondensat yang menebal dibagian bawah pipa kondensat. Cairan yang menebal tersebut bertabrakan dengan aliran *steam* sehingga membentuk pola *wavy* tersebut. Perubahan pola aliran bisa juga dikarenakan oleh aliran yang semakin turbulen akibat meningkatnya bilangan Reynold.

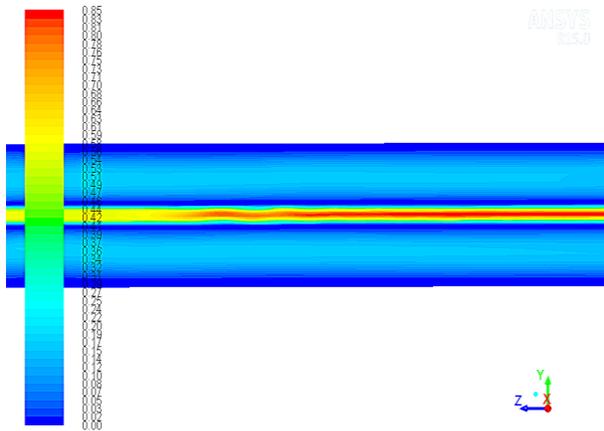
d) Aliran Dengan $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s



Gambar 3.12 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s saat 1 detik

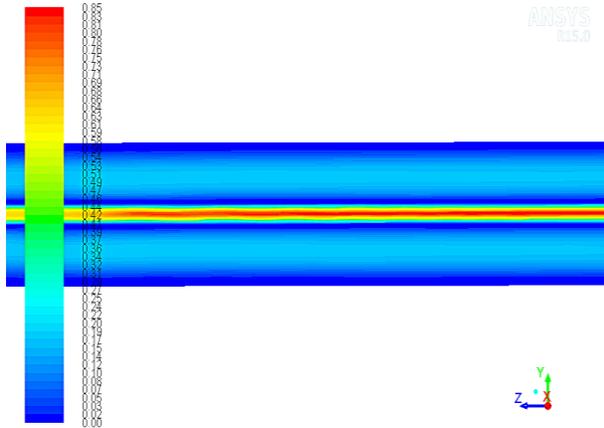


Gambar 3.13 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s saat 2,5 detik



Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=4.0000e+00) Jul 27, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, dp, pbns, LES, transient)

Gambar 3.14 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s saat 4 detik

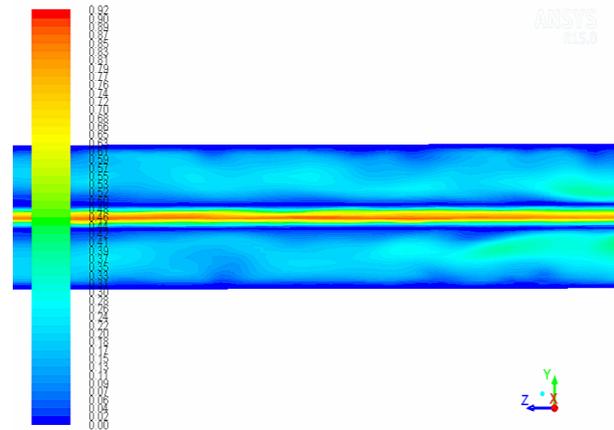


Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=5.0000e+00) Jul 27, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, dp, pbns, LES, transient)

Gambar 3.15 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s saat 5 detik

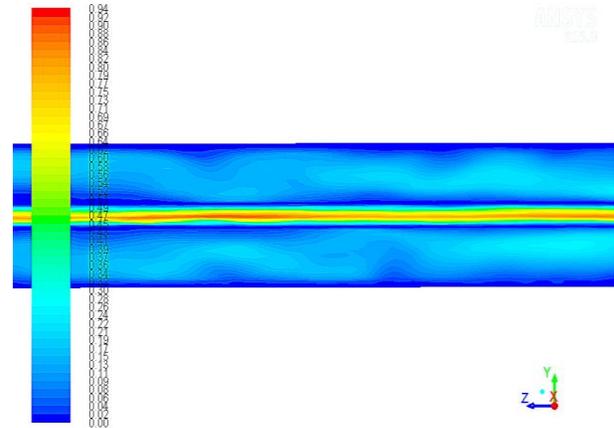
Gambar 3.15 menunjukkan pola distribusi tekanan *steam* yang terbentuk pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s adalah *wavy*.

e) Aliran Dengan $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s



Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=2.5000e+00) Jul 31, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, pbns, LES, transient)

Gambar 3.16 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s saat 2,5 detik



Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=3.0000e+00) Jul 31, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (3d, pbns, LES, transient)

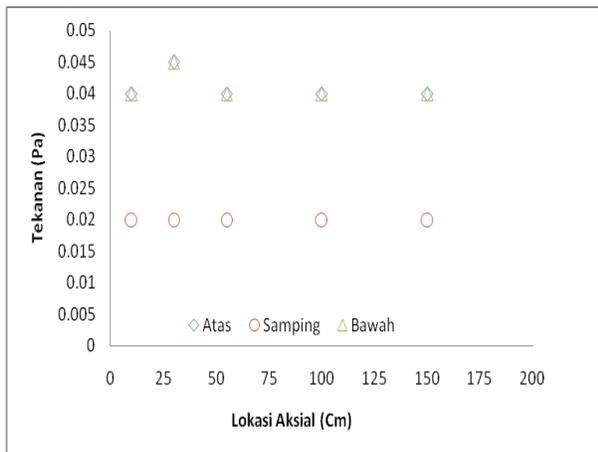
Gambar 3.17 Visualisasi Aliran Pada $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s saat 3 detik

Gambar 3.21 tersebut menunjukkan bahwa terjadi pola *wavy* pada bagian yang mendekati sisi *outlet* pipa, hal tersebut dikarenakan oleh terbentuknya cairan kondensat pada sisi yang mendekati *outlet* pipa akibat dari proses kondensasi. Cairan kondensat yang terbentuk terdorong oleh aliran *Steam* sehingga menumpuk dengan ketebalan tertentu dan terkumpul didaerah yang mendekati *outlet*.

Pola aliran *wavy* belum berpotensi membentuk slug, akan tetapi bila terbentuk aliran *wavy-slug* ini untuk menggambarkan bahwa pola alirannya adalah *wavy* yang mendekati *slug*. Pola aliran *slug* inilah yang merupakan inisiasi terjadinya *water hammer*.. alirannya adalah *wavy* yang mendekati *slug*. Pola aliran *slug* inilah yang merupakan inisiasi terjadinya *water hammer*.

3.2 Pembahasan

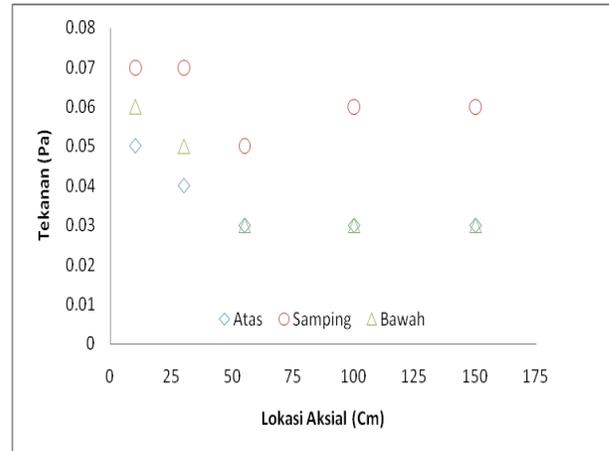
Hasil dari simulasi kemudian diolah menjadi grafik distribusi tekanan untuk dilihat fluktuasi tekanan yang terjadi. Pengukuran dilakukan pada posisi aksial pada jarak 10 cm, 30 cm, 55 cm, 100 cm, dan 150 cm dari *inlet*.



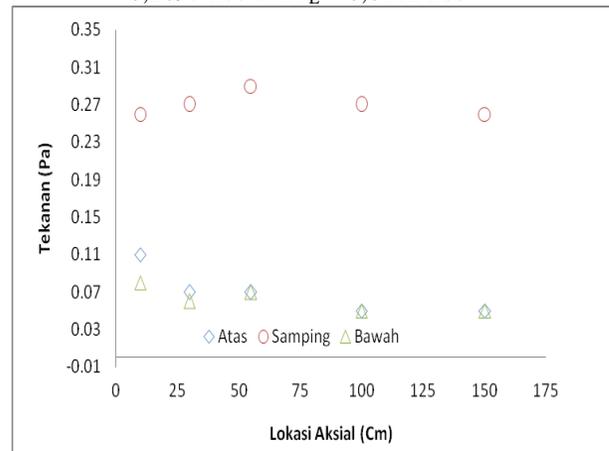
Gambar 3.22 Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s

Gambar 3.22 menunjukkan *Distribusi* tekanan untuk $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s pada posisi atas dan bawah memiliki tekanan yang sama polanya,

fluktuasi tertinggi pada posisi atas dan bawah yaitu pada posisi aksial 25 Cm dari inlet. Pada posisi samping fluktuasi tekanannya tidak mengalami perubahan yang signifikan, nilainya berada stabil pada 0.02 Pa.



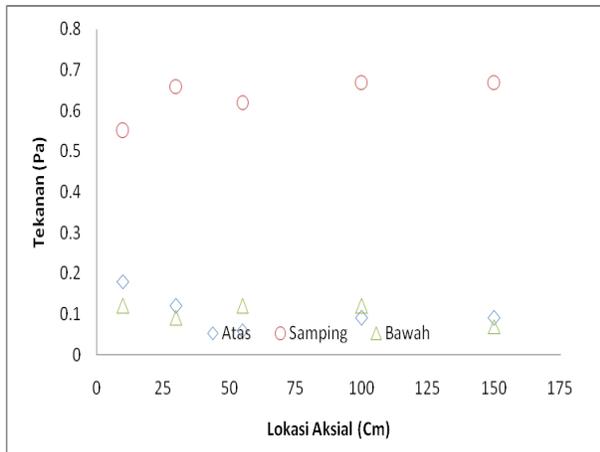
Gambar 3.23. Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s



Gambar 3.24. Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s

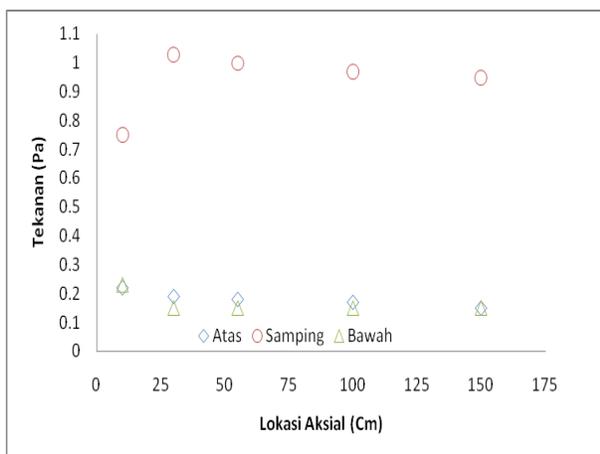
Pada saat J_G mengalami kenaikan, maka meningkat pula tekanan pada ruang anulus yang ditunjukkan oleh Gambar 3.23 dan Gambar 3.24.

Tekanan pada posisi samping cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan posisi atas dan bawah, hal tersebut bisa dikarenakan oleh faktor gesekan yang terjadi antara *steam* dengan dinding ruang anulus.



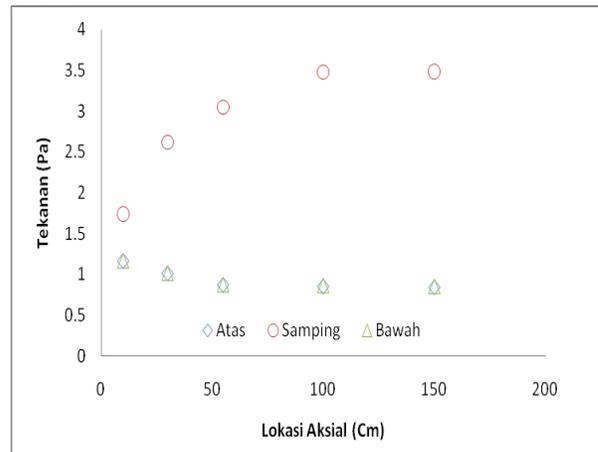
Gambar 3.25. Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s

Gambar 3.25 menunjukkan bahwa pada saat kecepatan superfisial ditingkatkan maka menyebabkan naiknya tekanan pada ruang anulus. Tekanan tertinggi berada pada posisi samping di jarak 150 Cm dari inlet dengan nilai tekanan mencapai 0,62 Pa, Hal serupa juga terjadi pada posisi atas dan bawah yang mengalami kenaikan tekanan. Pada Gambar 3.25 posisi atas tekanan tertinggi pada nilai 0,11 Pa dan posisi bawah tekanan tertinggi pada 0,08 Pa, kemudian pada Gambar 3.25 tekanan tertinggi untuk posisi atas adalah 0,18 Pa dan pada posisi bawah 0,12 Pa.



Gambar 3.26. Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s

Gambar 3.26 menunjukkan bahwa fluktuasi tekanan pada posisi atas dan samping tidaklah jauh berbeda dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 3.25, akan tetapi kenaikan tekanan justru terjadi pada sisi samping yang mencapai titik tertinggi pada nilai 1,03 Pa pada lokasi aksial 25 Cm dari inlet.



Gambar 3.27 Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s

Pada saat kecepatan superfisial *Steam* ditingkatkan secara signifikan dari $J_G=1,0075$ menjadi $J_G=1,8620$ yang terjadi adalah fluktuasi tekanan berubah secara signifikan. Fenomena ini sesuai dengan hukum Bernoulli yang menjelaskan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan kecepatan pada aliran fluida akan mengakibatkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Penurunan tekanan tersebut karena adanya gesekan antara fluida yang mengalir dengan permukaan dinding pipa.

Gambar 3.27 menunjukkan fenomena yang sesuai dengan hukum bernoulli, dimana posisi atas dan bawah merupakan *steam* yang bergesekan langsung dengan permukaan dinding pipa tekanannya mengalami penurunan.

Aliran dengan $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s perlu diwaspadai karena pada posisi samping fluktuasinya terus meningkat, karena salah satu inisiasi terjadinya fenomena *water hammer* adalah dengan adanya kenaikan tekanan signifikan secara tiba-tiba.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

- a. Aliran dengan $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s membentuk pola lurus pada distribusi tekanannya. Fluktuasi Tekanan pada grafik distribusi tekanan hasilnya adalah tekanan lebih tinggi pada posisi atas dan bawah, sedangkan posisi side tekanannya rendah dan tekanannya stabil.
- b. Aliran dengan $J_G = 0,2697$ m/s $J_L = 0,6112$ m/s dan $J_G = 0,5949$ m/s $J_L = 0,5219$ m/s distribusi tekanannya membentuk pola *wavy*. Fluktuasi Tekanan untuk kedua J_G dan J_L pada Grafik distribusi menunjukkan kesamaan bentuk fluktuasinya. Tekanan pada posisi samping lebih tinggi dibandingkan dengan posisi atas dan bawah dengan tekanan tertinggi pada posisi aksial 55 Cm dari *inlet* dan mengalami penurunan kembali pada saat menuju *outlet*.
- c. Aliran dengan $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s distribusi tekanannya membentuk pola *wavy*. Fluktuasi Tekanan di grafik distribusi tekanan pada posisi tengah lebih tinggi dibanding posisi atas dan bawah. Pada posisi atas dan bawah tekanan uap mengalami penurunan

sedangkan pada posisi samping tekanan berfluktuasi nilainya.

- d. Aliran dengan $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s distribusi tekanannya membentuk pola *wavy*. Fluktuasi tekanan pada grafik distribusi tekanan di posisi atas dan bawah semakin menurun pada saat menuju *outlet*. Pada posisi samping tekanan mengalami peningkatan pada posisi aksial 25 Cm kemudian turun kembali saat menuju *outlet*.
- e. Aliran dengan $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s sebaiknya diwaspadai, karena pada grafik fluktuasi tekanan pada posisi samping nilainya semakin meningkat. Fenomena *water hammer* inisiasi kemunculannya adalah dengan adanya kenaikan tekanan signifikan secara tiba-tiba.
- f. Berdasarkan hasil simulasi aliran dibawah $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s masih aman, sedangkan aliran $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s perlu diwaspadai karena memiliki tanda-tanda munculnya fenomena *water hammer*.

5. Daftar Pustaka

1. Afolabi, Eyitayo. A. & Lee, J. G.M. 2013. *CFD Simulation of a Single Phase Flow in a Pipe Separator Using Reynolds Stress Method*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Vol 8, No 7, July 2013.
2. Akhtari, M., Haghshenasfard, M. & Talaie, M. 2013. *Numerical and Experimental Investigation of Heat Transfer of α -Al₂O₃ / Water Nanofluid in Double Pipe*

- and Shell and Tube Heat Exchanger.* Taylor & Francis Group, LLC.
3. Ansys Fluent User's Guide. 2013. Ansys, Inc. USA.
 4. Behera, Siddharta Shankar. 2013. *CFD Analysis of Heat Transfer in a Helical Coil Heat Exchanger Using Fluent.* Departement of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Rourkela.
 5. Bhanuchandrarao, B. 2013. *CFD Analysis And Performance of Parallel And Counter Flow In Concentric Tube Heat Exchangers.* International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 2 Issue 11, November 2013.
 6. Poursaeidi, Esmail. 2011. *Using CFD to Study Combustion and Steam Flow Distribution Effects on Reheater Tubes Operation.* Journal of Fluids Engineering Vol 133.
 7. Rahul H, Kanade. 2015. *Heat Transfer Enhancement in a Double Pipe Heat Exchanger Using CFD.* International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Vol 02.
 8. Mazumder, Quamrul. H. 2012. *CFD Analysis of Single and Multiphase Flow Characteristic in Elbow.* Journal of Scientific Research, Engineering, 2012, 4, 210-214.
 9. Munson, Bruce. R., Young, Donald. F. & Okiishi, Ted. H. 2013. *Fundamental of Fluid Mechanics 7th Edition.* John wiley & Son, Inc.
 10. Song, Shengwei. 2014. *Analysis of Y Type Branch Pipe Exhaust Ventilation Flow Characteristics.* Applied Mechanics ang Materials Vols. 556-562, pp 1054-1058. Trans Tech Publications, Switzerland.
 11. Sukamta. 2011. *Temperature Profiles Based On Multilocations Of Condensation Of Steam Flow Cooled With Parallel Flowing Water In The Outside Of A Horizontal Pipe.*
 12. Tuakia, Firman. 2008. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent.* Informatika. Bandung.
 13. Versteeg, H. K. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Methode.* Longman Scientific & Technical. England.