

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil dari simulasi penelitian fluktuasi tekanan pada kondensasi *Steam* pada pipa konsentrik dengan pendinginan searah pada ruang anulus dengan menggunakan *software* Ansys Fluent disajikan dalam 6 (enam) variasi kecepatan superfisial *Steam*. Proses simulasi dilakukan selama 5 detik pada titik aksial 10 Cm, 30 Cm, 55 Cm, 100 Cm dan 150 Cm. Arah aliran fluida adalah menuju sumbu Z. Berikut ini adalah hasil dari simulasi fluktuasi tekanan yang dikelompokkan berdasarkan variasi kecepatan superfisial *Steam* yang masuk kedalam ruang anulus pada pipa konsentrik horisontal.

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

Variasi pertama adalah menggunakan $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s, nilai kecepatan superfisial tersebut didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$J_G = \frac{0,0013 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,1409 \text{ m/s}$$
$$J_L = \frac{0,00449 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,5041 \text{ m/s}$$

Boundary condition yang digunakan untuk proses simulasi adalah sebagai berikut :

Inlet :

$$J_G = 0,1409 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 103,23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$J_L = 0,5041 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 16,372 \text{ }^\circ\text{C}$$

Outlet:

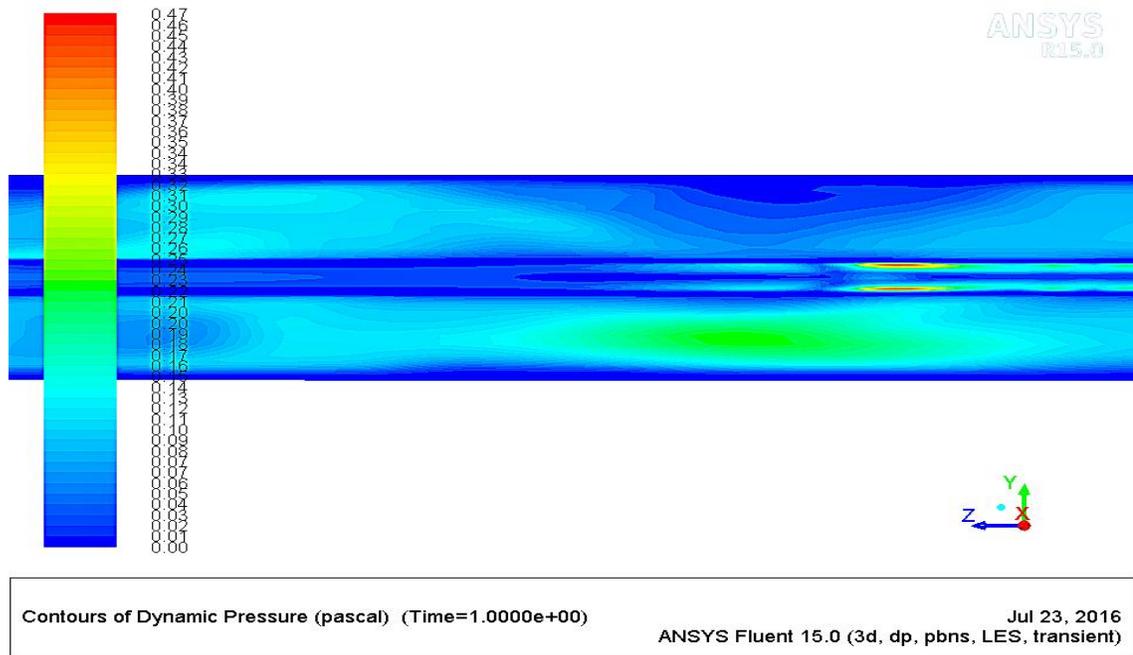
$$\text{Tekanan}_{\text{Steam}} = 61.191,3 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 78,30 \text{ }^\circ\text{C}$$

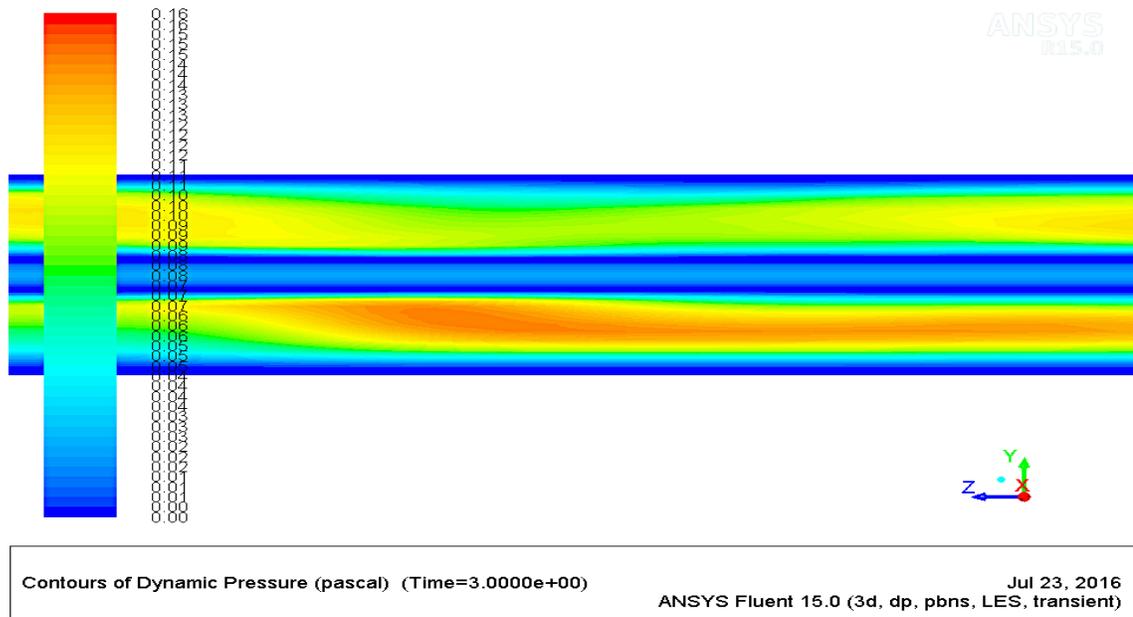
$$\text{Tekanan}_{\text{Air}} = 101.325 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 25,332 \text{ }^\circ\text{C}$$

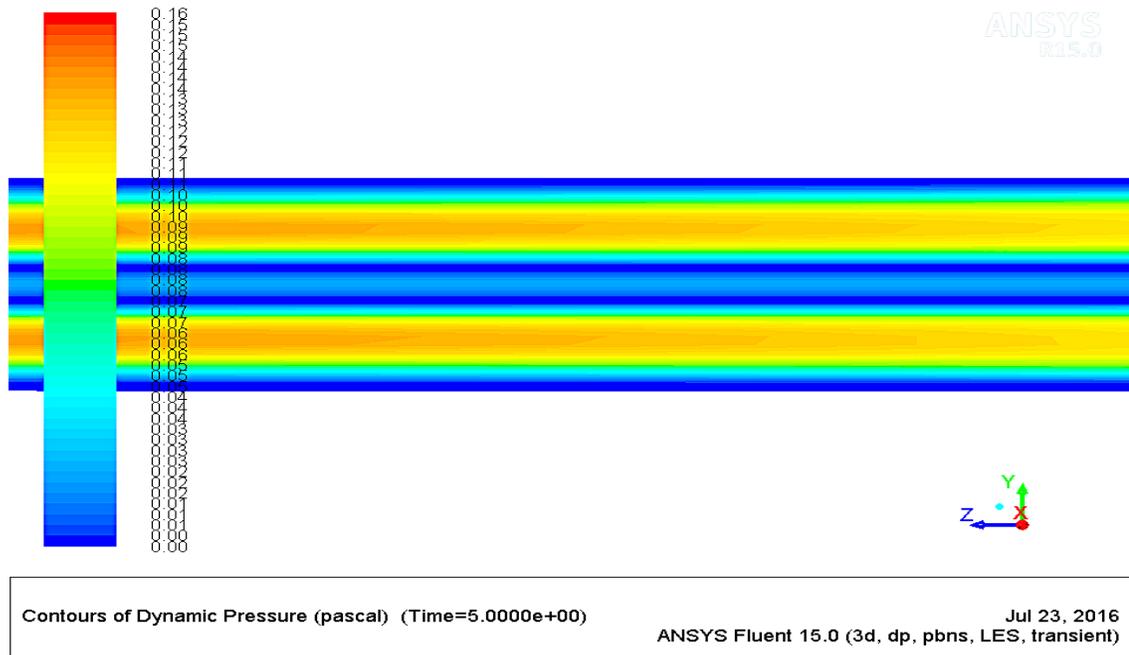
Hasil dari proses simulasi adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1. Visualisasi *Steam* Aliran Pada $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s saat $t = 1$ detik



Gambar 4.2. Visualisasi Aliran *Steam* Pada $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s saat $t = 3$ detik



Gambar 4.3. Visualisasi aliran *Steam* pada $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s

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 4.3. Pada Gambar 4.3 dijelaskan bahwa tekanan berfluktuasi sangat kecil sesuai dengan kondisi *Steam* pada Gambar 4.3 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

Variasi ke-2 adalah menggunakan $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s, nilai kecepatan superfisial tersebut didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$J_G = \frac{0,0024 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,2697 \text{ m/s}$$

$$J_L = \frac{0,00544 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,6112 \text{ m/s}$$

Boundary condition yang digunakan untuk proses simulasi adalah sebagai berikut :

Inlet :

$$J_G = 0,2697 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 103,23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$J_L = 0,6112 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 17,889 \text{ }^\circ\text{C}$$

Outlet:

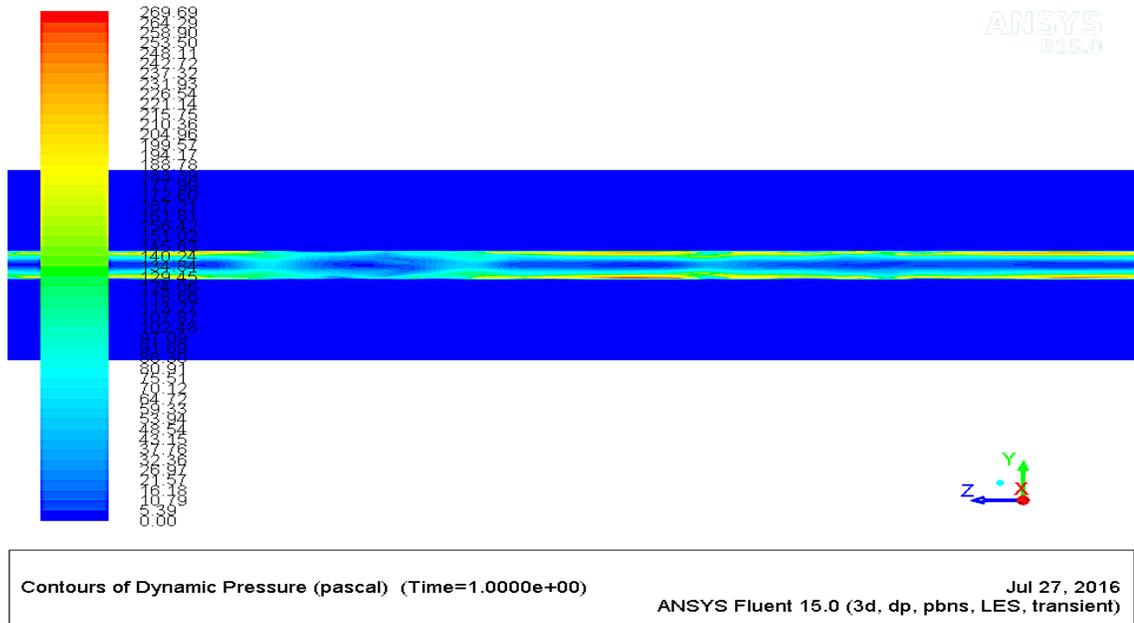
$$\text{Tekanan}_{\text{Steam}} = 64.981,5 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 79,13 \text{ }^\circ\text{C}$$

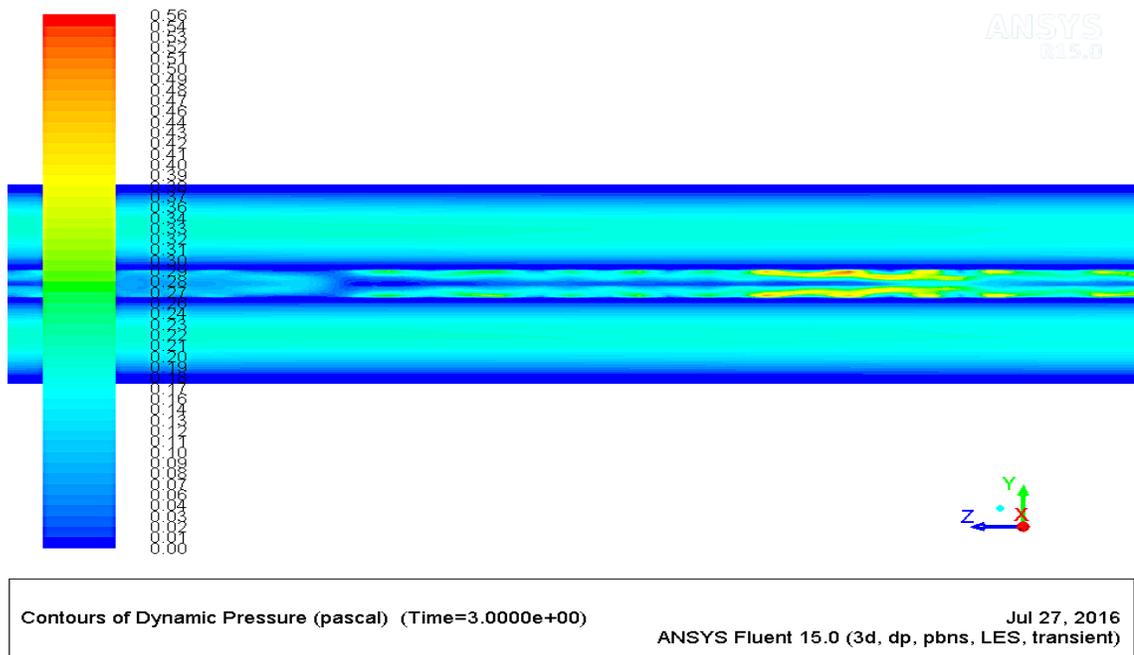
$$\text{Tekanan}_{\text{Air}} = 101.325 \text{ P}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 27,76 \text{ }^\circ\text{C}$$

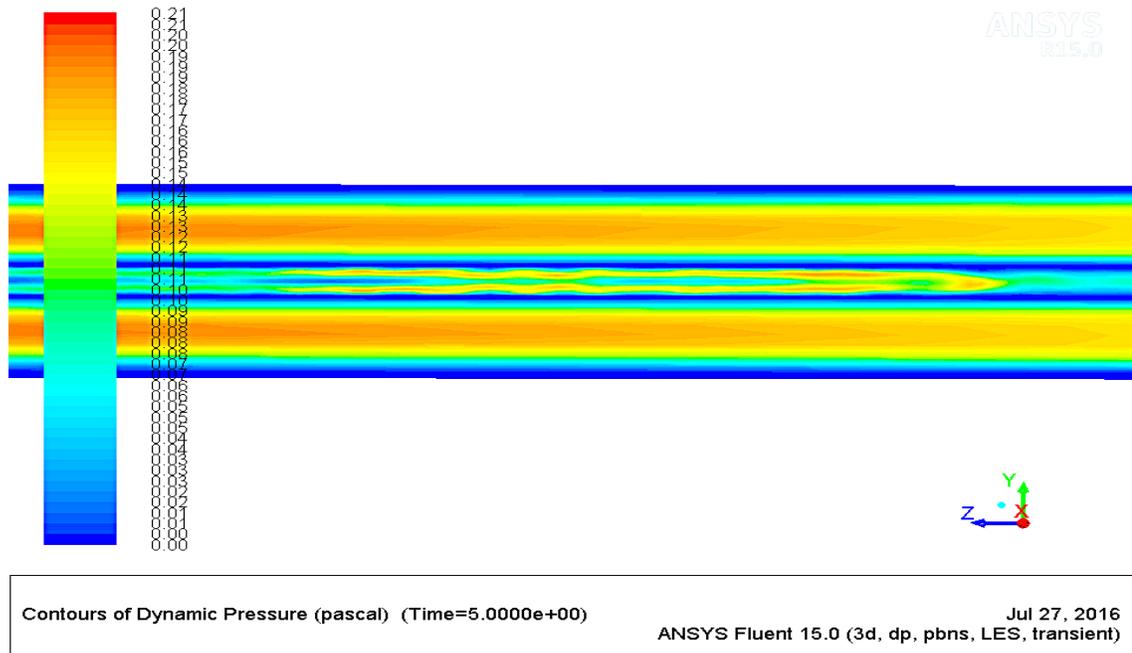
Hasil dari proses simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4. Visualisasi Aliran *Steam* Pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s saat $t = 1$ detik



Gambar 4.5. Visualisasi Aliran *Steam* Pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s saat $t = 3$ detik



Gambar 4.6. Visualisasi aliran *Steam* pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s

Berdasarkan yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 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*.

kecepatan superfisial *Steam* yang bertambah akan mengakibatkan meningkatnya bilangan *Reynold*, semakin tinggi bilangan *Reynold* maka akan meningkatkan kemungkinan turbulensi pada aliran.

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

Variasi ke-3 adalah menggunakan $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s, nilai kecepatan superfisial tersebut didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$J_G = \frac{0,0053 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,5949 \text{ m/s}$$

$$J_L = \frac{0,00465 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,5219 \text{ m/s}$$

Boundary condition yang digunakan untuk proses simulasi adalah sebagai berikut :

Inlet :

$$J_G = 0,5949 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 103,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$J_L = 0,5219 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 19,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Outlet:

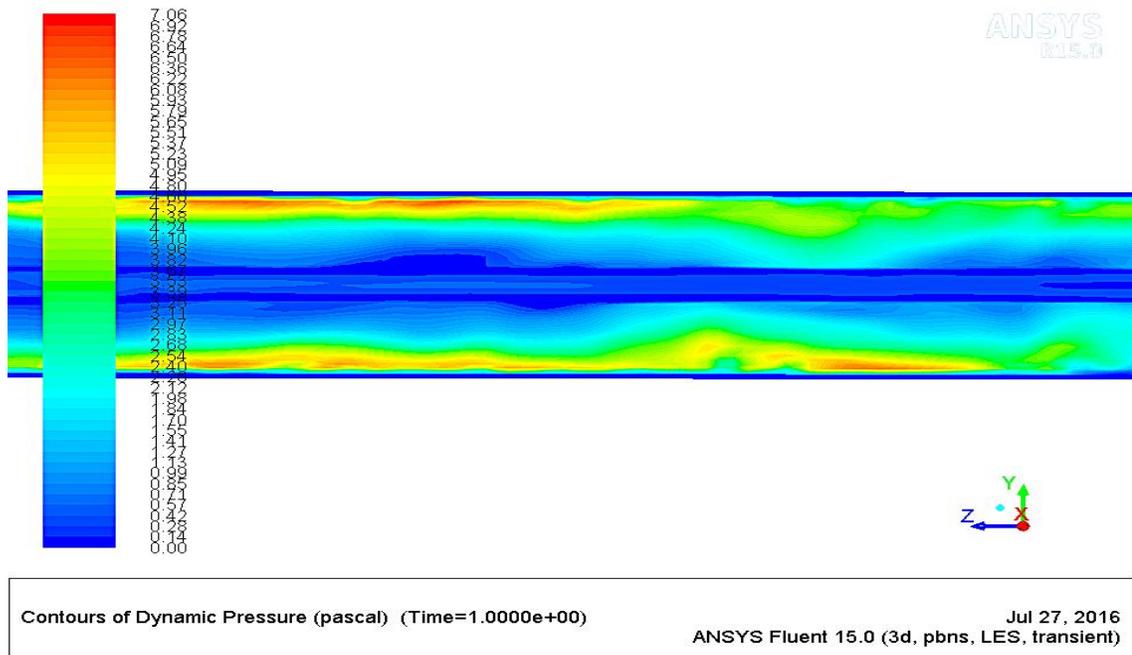
$$\text{Tekanan}_{\text{Steam}} = 66.333,92 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 79,43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

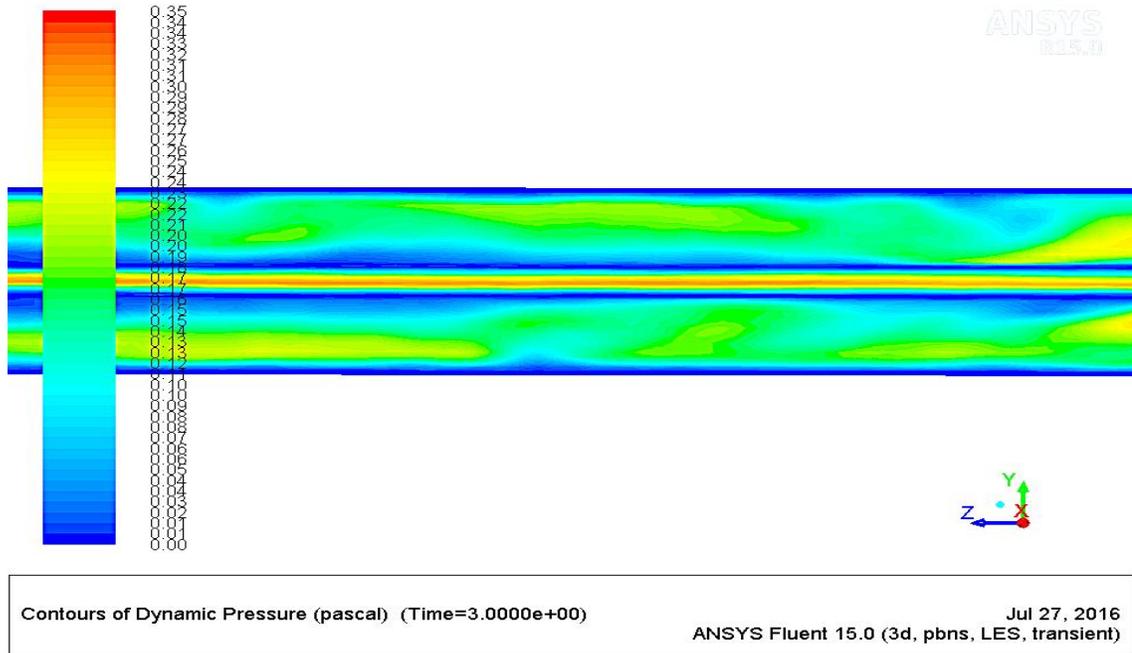
$$\text{Tekanan}_{\text{Air}} = 101.325 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 29,02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

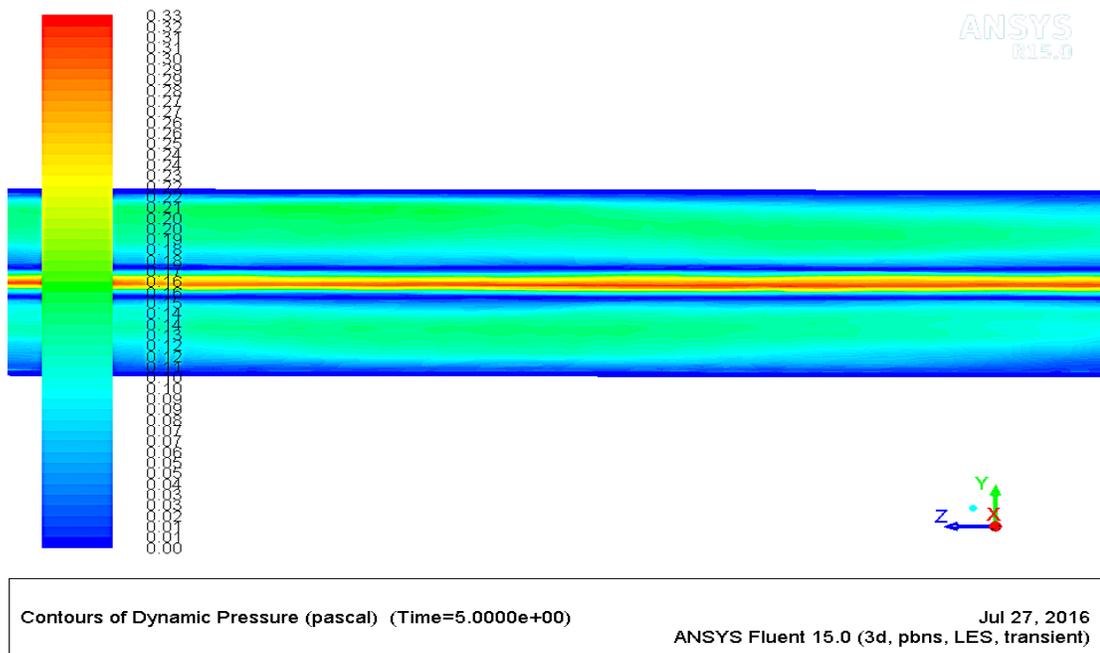
Hasil dari proses simulasinya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.7. Visualisasi Aliran *Steam* Pada $J_G = 0,5949 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,5219 \text{ m/s}$ saat $t = 1 \text{ detik}$



Gambar 4.8. Visualisasi Aliran *Steam* Pada $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s saat $t = 3$ detik



Gambar 4.9. Visualisasi Aliran *Steam* pada $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s

Pada Gambar 4.9 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

Variasi ke-4 adalah menggunakan $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s, nilai kecepatan superfisial tersebut didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$J_G = \frac{0,0080 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,8940 \text{ m/s}$$

$$J_L = \frac{0,00478 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,5374 \text{ m/s}$$

Boundary condition yang digunakan untuk proses simulasi adalah sebagai berikut :

Inlet :

$$J_G = 0,8940 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 97,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$J_L = 0,5374 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 19,831 \text{ }^\circ\text{C}$$

Outlet:

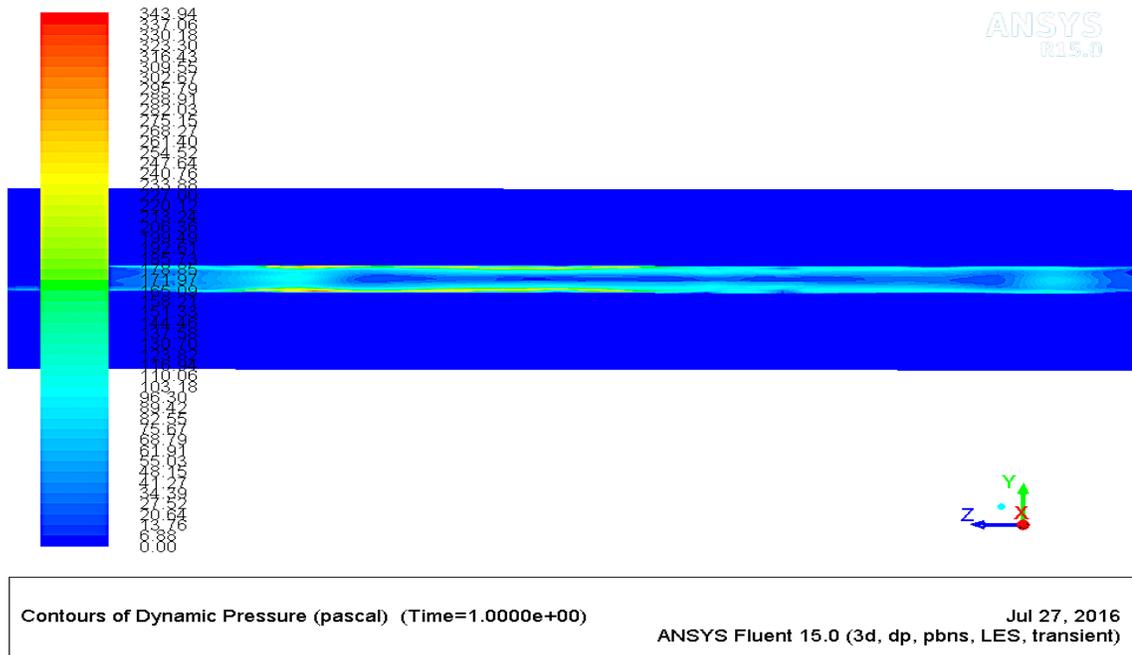
$$\text{Tekanan}_{\text{Steam}} = 66,347 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 90,118 \text{ }^\circ\text{C}$$

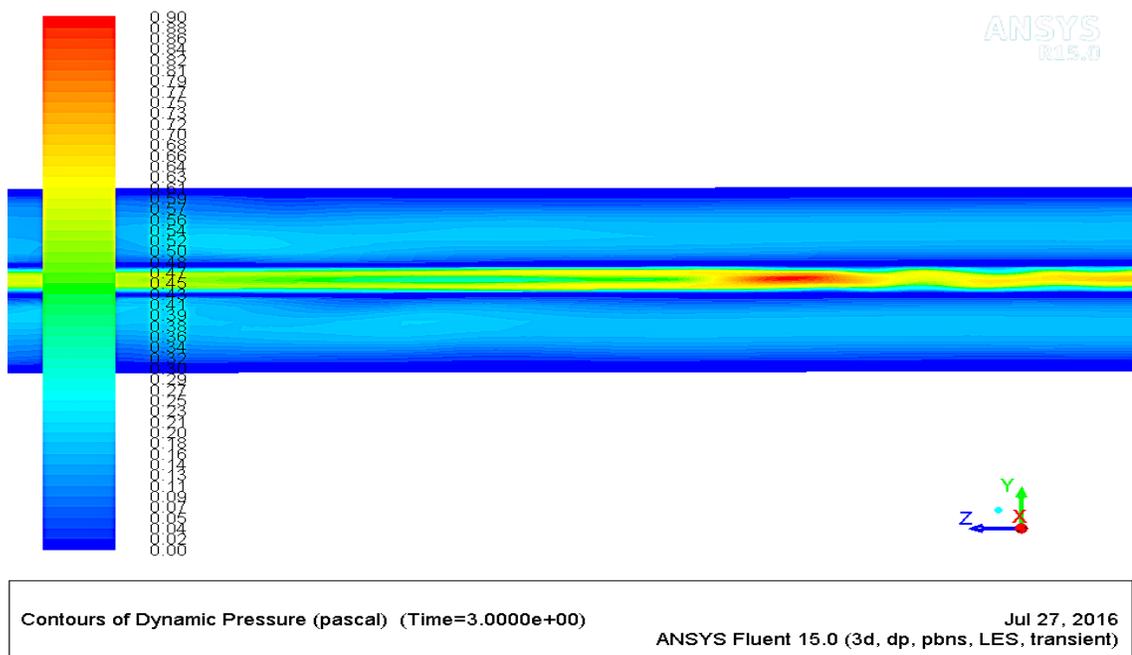
$$\text{Tekanan}_{\text{Air}} = 101,325 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 29,751 \text{ }^\circ\text{C}$$

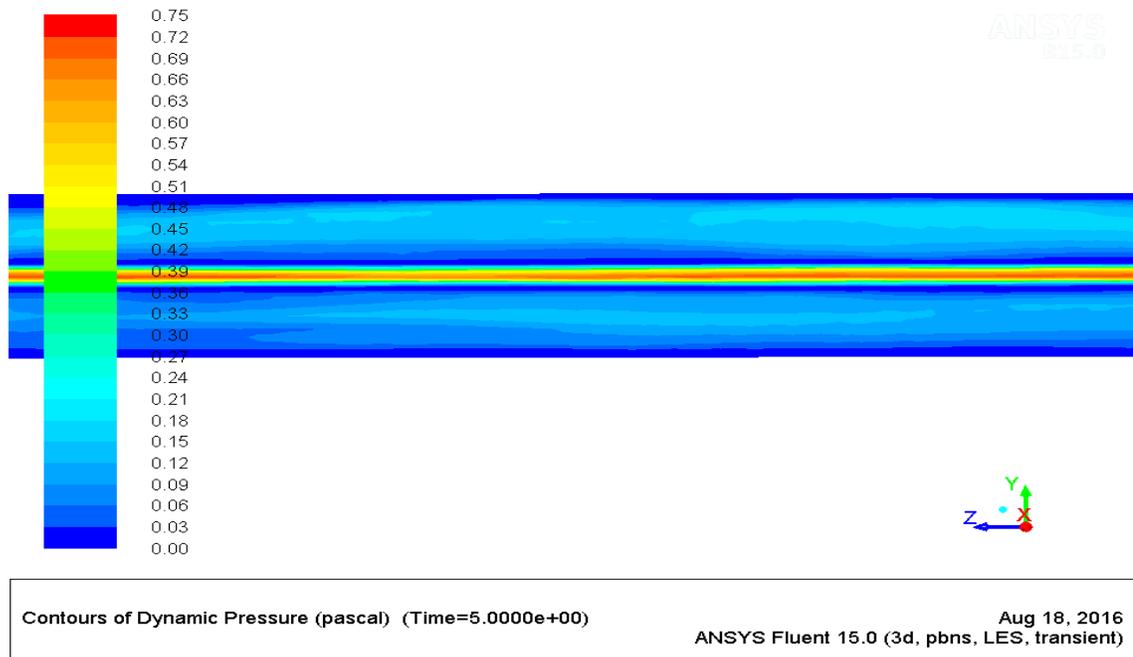
Hasil dari proses simulasi adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10. Visualisasi Aliran *Steam* Pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s saat 1 detik



Gambar 4.11. Visualisasi Aliran *Steam* Pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s saat 3 detik



Gambar 4.12. Visualisasi aliran *Steam* pada $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s

Gambar 4.12 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**

Variasi ke-5 adalah menggunakan $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s, nilai kecepatan superfisial tersebut didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$J_G = \frac{0,0096 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 1,0755 \text{ m/s}$$

$$J_L = \frac{0,00457 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,5132 \text{ m/s}$$

Boundary condition yang digunakan untuk proses simulasi adalah sebagai berikut :

Inlet :

$$J_G = 1,0755 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 103,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$J_L = 0,5132 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 20,63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Outlet:

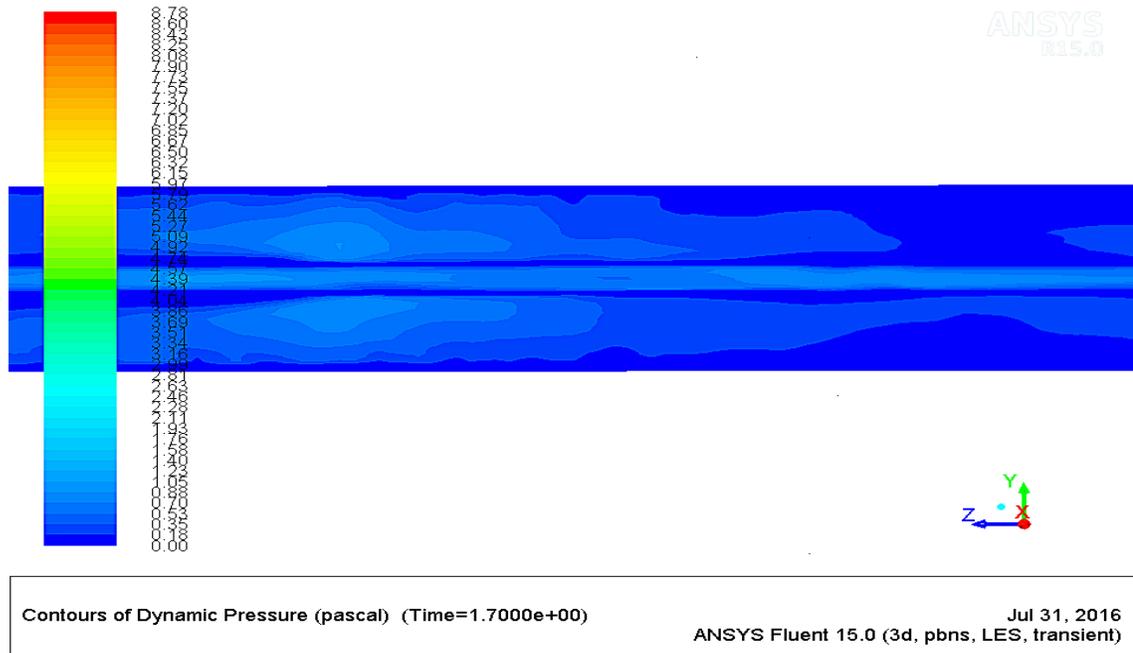
$$\text{Tekanan}_{\text{Steam}} = 65.625 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 79,27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

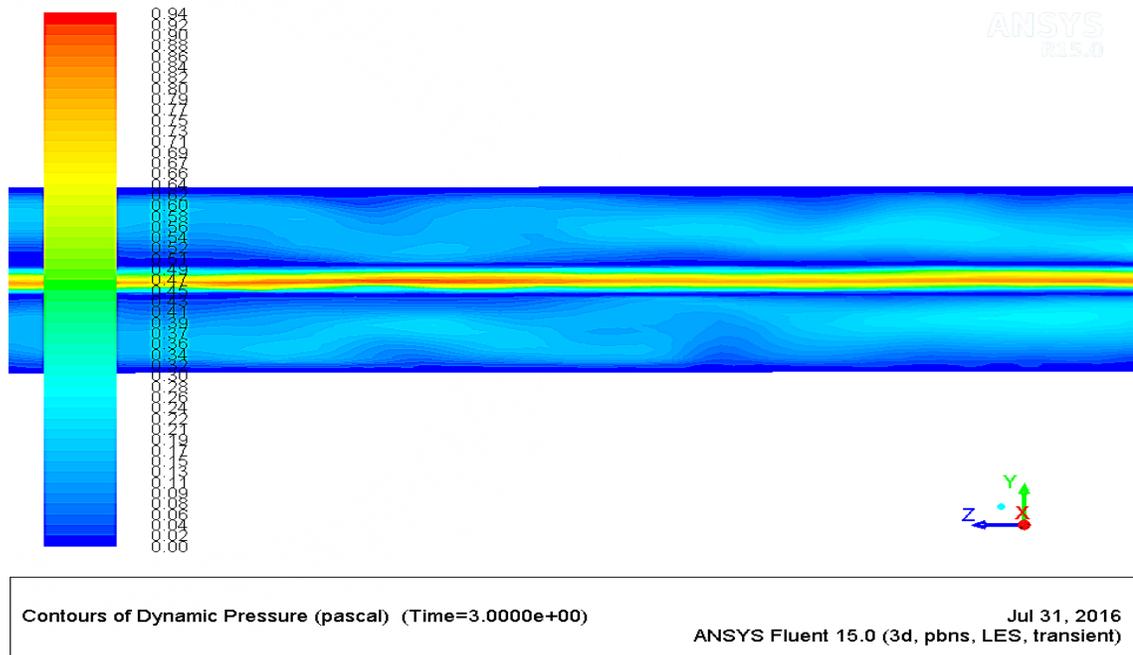
$$\text{Tekanan}_{\text{Air}} = 101.325 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 30,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

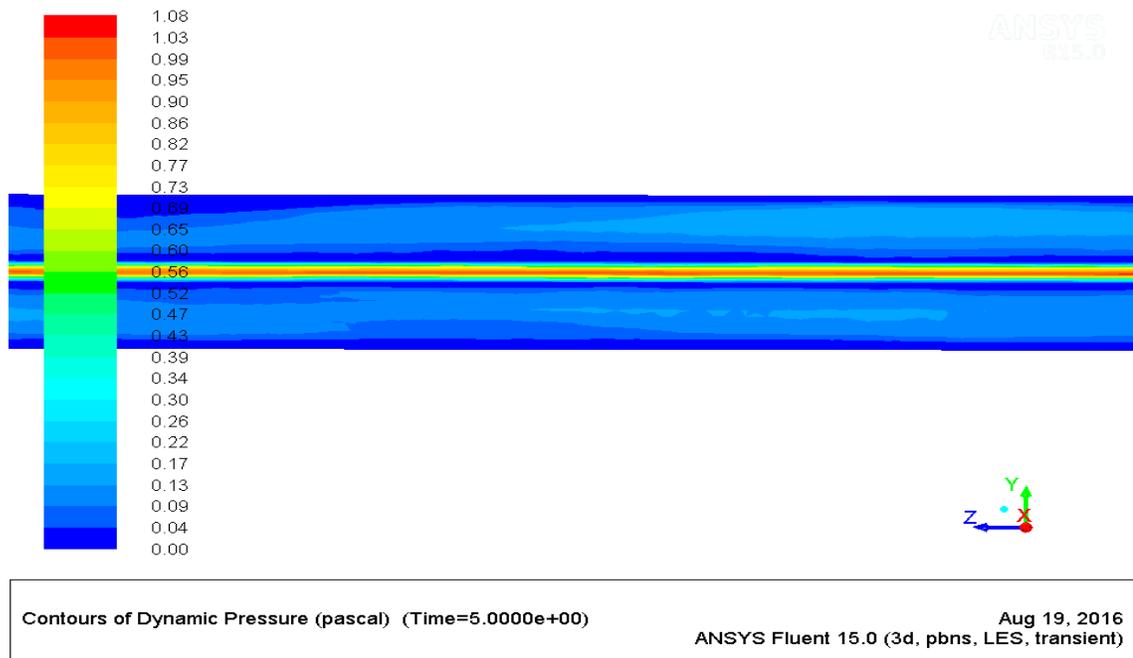
Aliran yang terbentuk adalah sebagai berikut :



Gambar 4.13 Visualisasi Aliran Steam Pada $J_G = 1,0755 \text{ m/s}$ dan $J_L = 0,5132 \text{ m/s}$ saat $t = 1,7$ detik



Gambar 4.14. Visualisasi Aliran Steam Pada $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s saat 3 detik



Gambar 4.15. Visualisasi aliran *Steam* pada $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa simulasi dengan $J_G = 0,8940$ m/s dan $J_L = 0,5374$ m/s menghasilkan distribusi tekanan dengan pola *wavy*. Pola *wavy* terjadi karena ketebalan dari lapisan cairan kondensat yang semakin bertambah. Semakin tebal cairan kondensat yang terbentuk maka akan semakin berpotensi membentuk pola aliran slug. Pola aliran akan membentuk *wavy-slug* terlebih dahulu sebelum membentuk pola aliran *slug*.

f) Aliran Dengan $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s

Variasi ke-5 adalah menggunakan $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s, nilai kecepatan superfisial tersebut didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$J_G = \frac{0,0166 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 1,8620 \text{ m/s}$$

$$J_L = \frac{0,00457 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0089 \text{ m}^2} = 0,5133 \text{ m/s}$$

Boundary condition yang digunakan untuk proses simulasi adalah sebagai berikut :

Inlet :

$$J_G = 1,862 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 103,23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$J_L = 0,5133 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 21,346 \text{ }^\circ\text{C}$$

Outlet:

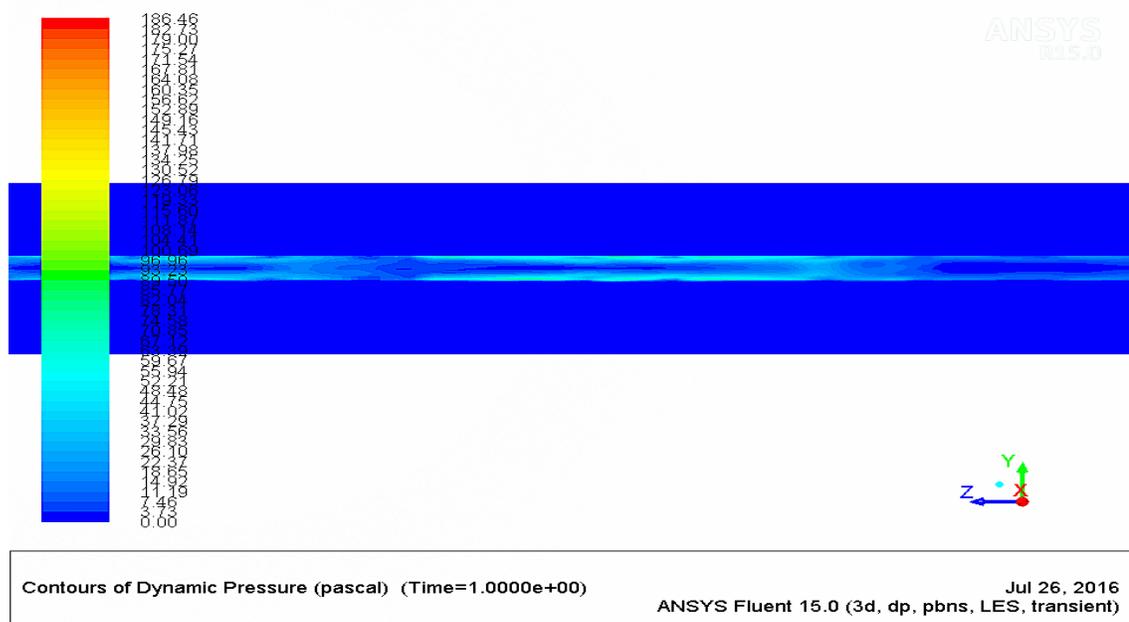
$$\text{Tekanan}_{\text{Steam}} = 65.194,5 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Steam}} = 79,17 \text{ }^\circ\text{C}$$

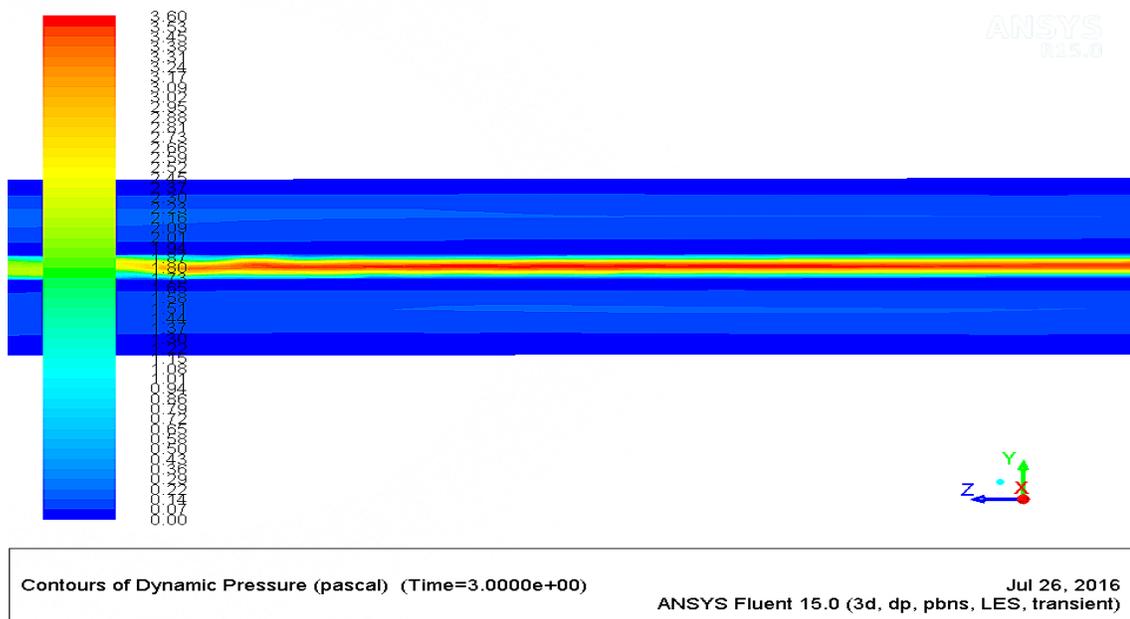
$$\text{Tekanan}_{\text{Air}} = 101.325 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatur}_{\text{Air}} = 31,20 \text{ }^\circ\text{C}$$

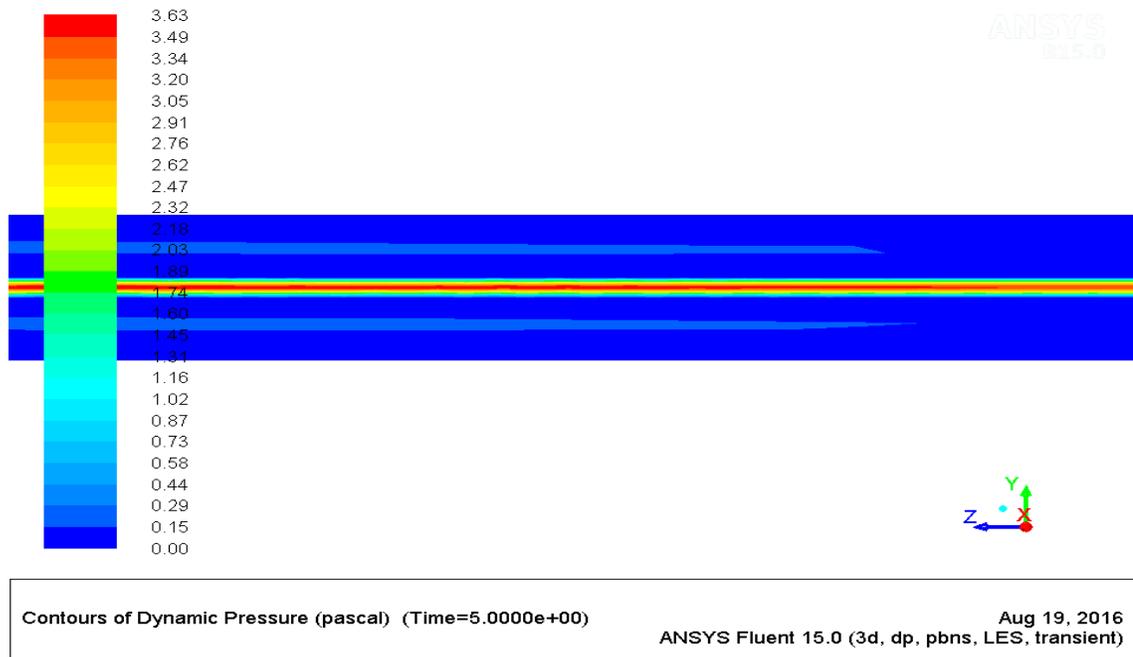
Hasil dari proses simulasi adalah sebagai berikut :



Gambar 4.16. Visualisasi Aliran Steam Pada $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s saat $t = 1$ detik



Gambar 4.17 Visualisasi Aliran *Steam* Pada $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s saat $t = 3$ detik



Gambar 4.18 Visualisasi aliran *Steam* pada $J_G = 1,8620$ m/s dan $J_L = 0,5133$ m/s

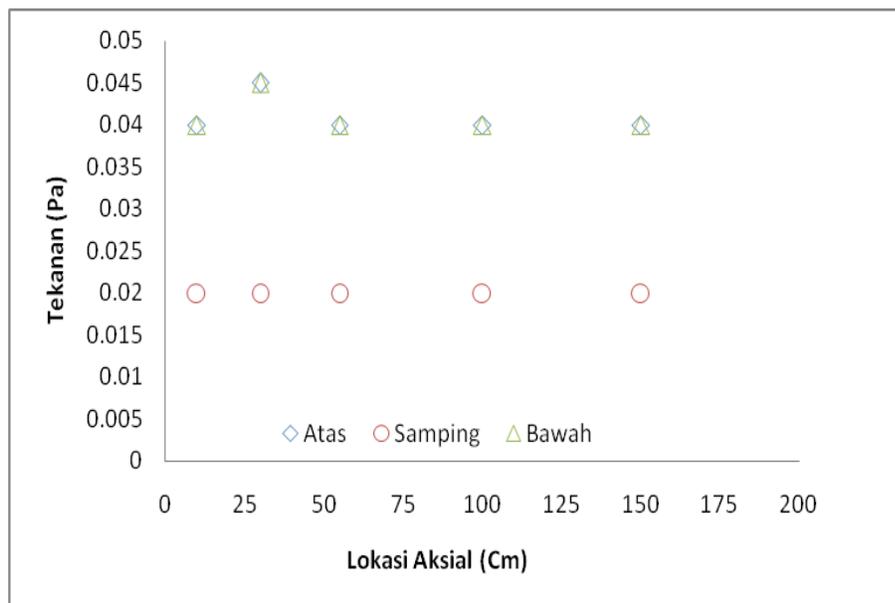
Pada saat kecepatan superfisial *Steam* ditingkatkan secara signifikan dari $J_G=1,0075$ menjadi $J_G=1,8620$ yang terjadi adalah fluktuasi tekanan berubah secara signifikan. Fenomena ini sesuai dengan hukum Bernoulli yang menjelaskan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan kecepatan pada aliran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

Gambar 4.18 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*.

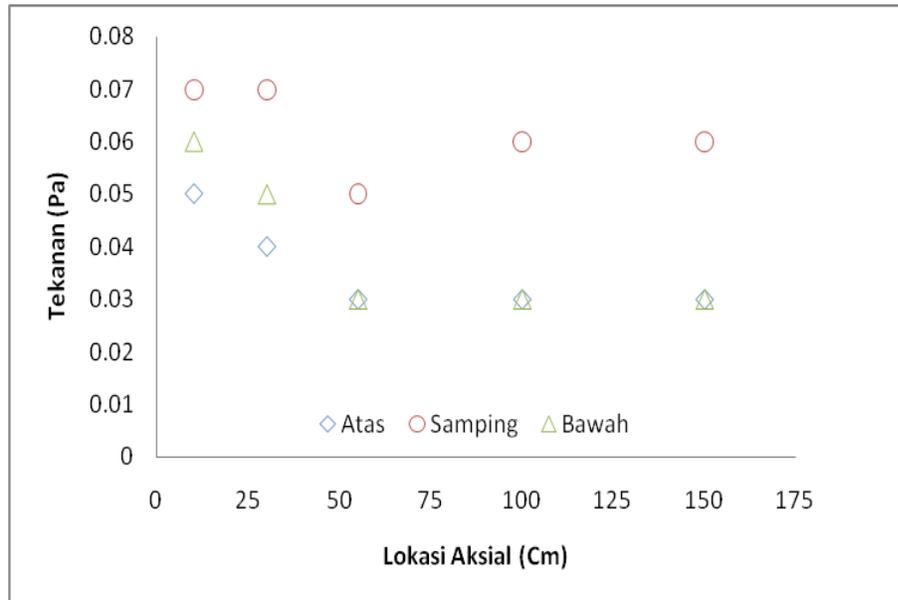
4.2 Pembahasan

Berdasarkan profil aliran *steam* dari hasil simulasi, didapatkan nilai fluktuasi tekanan yang diambil pada 5 titik berbeda pada sisi atas, samping dan bawah pada jarak 10 cm, 30 cm, 55 cm, 100 cm, dan 150 cm. Data fluktuasi tekanan tersebut ditampilkan pada grafik distribusi dibawah ini.

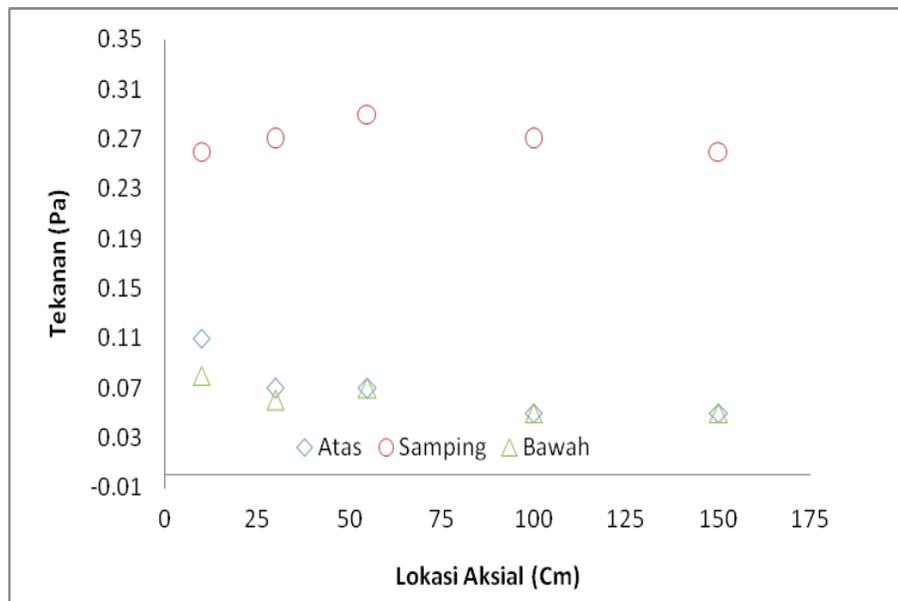


Gambar 4.19. Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 0,1409$ m/s dan $J_L = 0,5041$ m/s

Gambar 4.19 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.



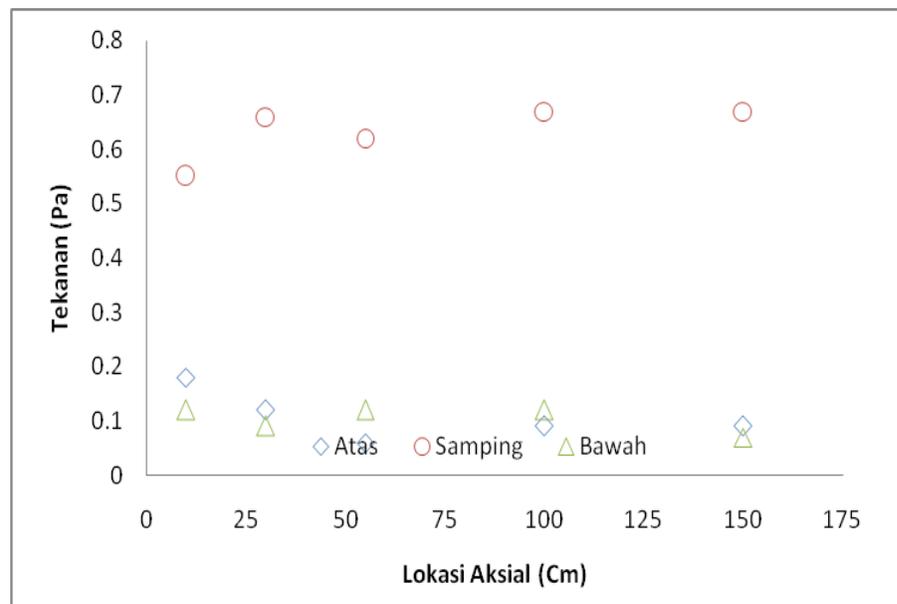
Gambar 4.20. Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 0,2697$ m/s dan $J_L = 0,6112$ m/s



Gambar 4.21. Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 0,5949$ m/s dan $J_L = 0,5219$ m/s

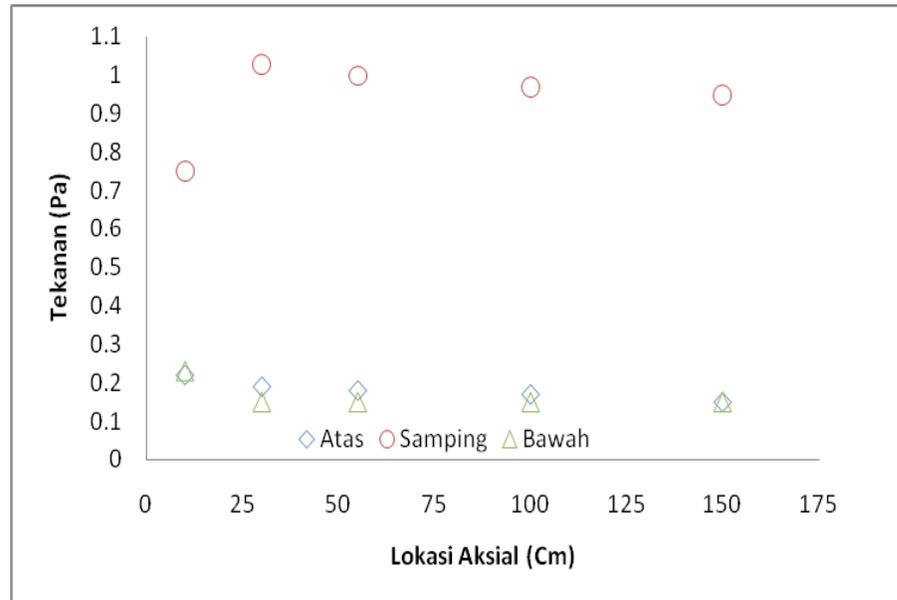
Pada saat J_G mengalami kenaikan, maka meningkat pula tekanan pada ruang anulus yang ditunjukkan oleh Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 Tekanan pada posisi

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

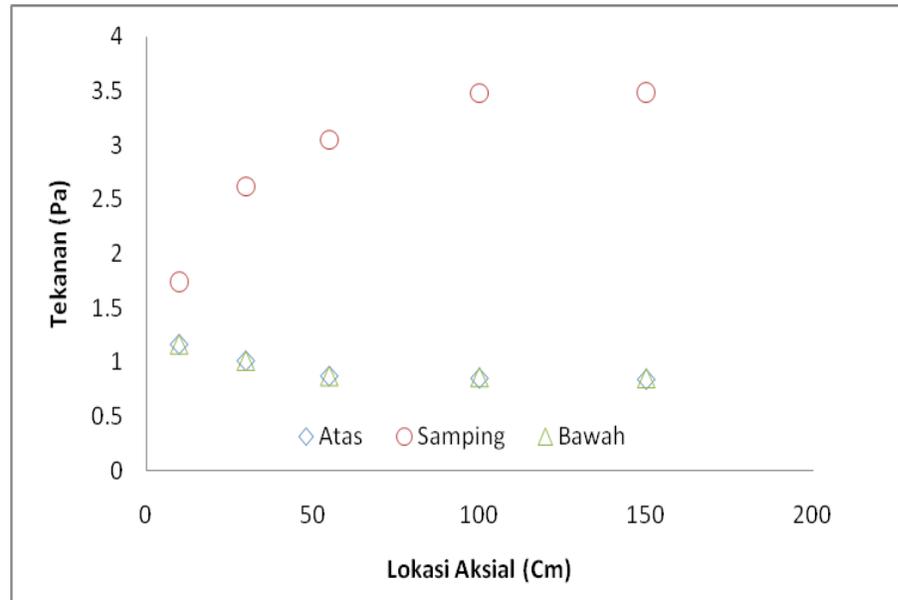
Gambar 4.22 menunjukkan bahwa pada saat kecepatan superfisial ditingkatkan maka menyebabkan naiknya tekanan pada ruang anulus. Tekanan tertinggi berada pada posisi samping di jarak 150 Cm dari inlet dengan nilai tekanan mencapai 0,62 Pa, Hal serupa juga terjadi pada posisi atas dan bawah yang mengalami kenaikan tekanan. Pada Gambar 4.22 posisi atas tekanan tertinggi pada nilai 0,11 Pa dan posisi bawah tekanan tertinggi pada 0,08 Pa, kemudian pada Gambar 4.22 tekanan tertinggi untuk posisi atas adalah 0,18 Pa dan pada posisi bawah 0,12 Pa.



Gambar 4.23. Grafik Distribusi Tekanan pada $J_G = 1,0755$ m/s dan $J_L = 0,5132$ m/s

Gambar 4.23 menunjukkan bahwa fluktuasi tekanan pada posisi atas dan samping tidaklah jauh berbeda dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 4.22, 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*.

Kecepatan superfisial yang semakin meningkat akan mempengaruhi pula bentuk pola aliran dari fluidanya, hal tersebut karena bilangan Reynold juga semakin bertambah yang mengakibatkan aliran menjadi turbulen. *Steam* yang mengalir pada ruang anulus akan mengalami proses kondensasi karena temperaturnya yang menurun akibat adanya air pendingin, dari proses kondensasi tersebut akan terbentuk lapisan cairan kondensat pada permukaan ruang anulus. Keberadaan lapisan cairan kondensat dengan ketebalan tertentu akan mempengaruhi bentuk pola aliran fluida.



Gambar 4.24 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 4.24 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.