

# ANALISIS CFD TERHADAP PROFIL TEMPERATUR UNTUK KONDENSASI UAP AIR PANAS POSISI AKSIAL PADA PIPA KONSENTRIK HORIZONTAL DENGAN PENDINGIN ALIRAN SEARAH DI DALAM RUANG ANULUS

Lucky.K.Octatriandi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Email : ( Lucky.k.octatriandi16@gmail.com)

## Abstract

Tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh hasil penurunan temperatur dan pola aliran yang terjadi di dalam simulasi sistem perpipaan dengan pendingin searah pada pipa konsentrik horizontal di dalam ruang anulus dan membandingkan hasil simulasi dengan hasil ekperimental yang dilakukan sebelumnya.

Penelitian ini terdiri dari dua buah pipa yang terbuat dari tembaga dengan ukuran diameter dalam 17,2 mm dan diameter luar 19 mm, pipa bagian luar dari besi galvanis dengan diameter dalam 108,3 mm dan diameter luar 114,3 mm panjang kedua pipa 1,6 m. Uap air mengalir pada bagian dalam pipa dan air pendingin mengalir searah pada pipa bagian luar. Dalam penelitian ini menggunakan variasi laju aliran massa *cooling water*  $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4}$  kg/s,  $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3}$  kg/s,  $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3}$  kg/s,  $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3}$  kg/s, dan  $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2}$  kg/s.

Hasil dari penelitian ini pada variasi  $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4}$  kg/s,  $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3}$  kg/s dan  $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2}$  kg/s terjadi kondensasi pada titik 75 cm sampai 150 cm dari sisi inlet. Sedangkan pada variasi  $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3}$  kg/s dan  $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3}$  kg/s terjadi kondensasi setelah melewati titik 150 cm dari sisi inlet atau mendekati sisi outlet. Dari hasil perbandingan simulasi dan eksperimental dapat disimpulkan hasil dari distribusi pola aliran pada percobaan simulasi lebih kecil dibandingkan hasil eksperimental. Perbedaan distribusi temperatur tersebut bisa di sebabkan faktor lingkungan yang bisa mempengaruhi hasil dari eksperimental

Kata kunci : Pola Aliran Fluida, Komputasi Dinamika Fluida, Kondensasi.

## 1. Pendahuluan

Fluida merupakan suatu zat yang dapat mengalami perubahan bentuk secara *continue* bila terkena tekanan gaya geser walaupun gaya tersebut relatif kecil atau dapat juga dikatakan suatu zat yang mengalir. Manusia tidak dapat dipisahkan dari fluida karena manusia akan selalu berhubungan dengan fluida. Ilmu mekanika fluida memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai bidang contohnya adalah dalam bidang industri seperti dalam bidang perminyakan, geothermal, petrokimia dan

lain-lainnya. Ilmu mekanika fluida sangat berpengaruh dalam perancangan sistem perpipaan pada aliran minyak atau distribusi air bersi.

Setiap aliran fluida akan ada potensi untuk terjadinya *water hammer* yang disebabkan oleh fenomena kondensasi. Efek yang muncul dari terbentuknya pola aliran adalah adanya fluktuasi aliran karena bercampunya fase gas dan fase cair yang tidak homogen sehingga densitas aliran pun tidak homogen yang dapat menimbulkan fluktuasi gaya. Dalam proses perancangan

sistem untuk aliran fluida diperlukan perhitungan yang tepat agar dapat menghindari atau meminimalisir terjadinya fenomena kondensasi di dalam sistem perpipaan yang bisa menyebabkan terjadinya *water hammer*.

Sekarang telah ditemukan sebuah metode berbasis sistem komputer yang dapat membantu dalam melakukan suatu simulasi dan analisa pada aliran fluida. Sehingga dengan metode ini kemungkinan buruk yang terjadi didalam suatu sistem perpipaan halnya fenomena *water hammer* dapat dihindari karena dalam perancangan pipa dapat disimulasikan terlebih dahulu. Hasil dari simulasi tersebut dapat diketahui pola aliran yang akan terjadi didalam sistem perpipaan.

Computation *Fluid Dynamic* (CFD) merupakan metode yang cocok digunakan dalam analisa terhadap sebuah sistem yang rumit dan sulit dipecahkan dengan perhitungan manual. *Software* ANSYS sering digunakan untuk melakukan analisa CFD terhadap suatu pola sebuah sistem. Adapaun *software* yang sering digunakan adalah FLUENT, XFlow, Open FOAM, dll.

D.Bhanuchandrarao dkk (2013) menggunakan aplikasi CFD ANSYS FLUENT 12.1 untuk menganalisis penurunan temperatur pada *heat exchanger* dengan model aliran paralel dan berlawanan arah.

Penelitian ini akan melakukan analisis terhadap profil temperatur uap air panas dengan pendingin searah pada pipa konsentrik horisontal menggunakan *Software ANSYS FLUENT* 15.0 guna mengetahui pola aliran dan penurunan temperatur pada sistem tersebut.

Untuk menghindari kemungkinan terburuk yang diakibatkan oleh fenomena *water*

*hammer* diperlukan *early warning system* guna mengetahui potensi bahaya yang akan terjadi di sistem. Penggunaan *software ANSYS Fluent* ini yang akan melakukan proses simulasi guna mendapat pola aliran pada instalasi perpipaan dan memberikan *early warning system* terhadap instalasi yang akan digunakan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 2 buah pipa yang terbuat dari bahan yang berbeda dan ukuran diameter yang berbeda. Pipa bagian dalam terbuat dari tembaga dengan diameter dalam 17,2 mm dan diameter luar 19 mm. Pipa bagian luar terbuat dari besi galvanis (*galvanized iron pipe*) dengan diameter dalam 108,3 mm dan diameter luar 114,3 mm, Panjang dari kedua pipa tersebut adalah 1,6 m. Pipa bagian dalam akan dialirkan fluida berupa uap air, sedangkan untuk pendingin dari uap tersebut adalah air (H<sub>2</sub>O) yang akan mengalir pada pipa bagian dalam.

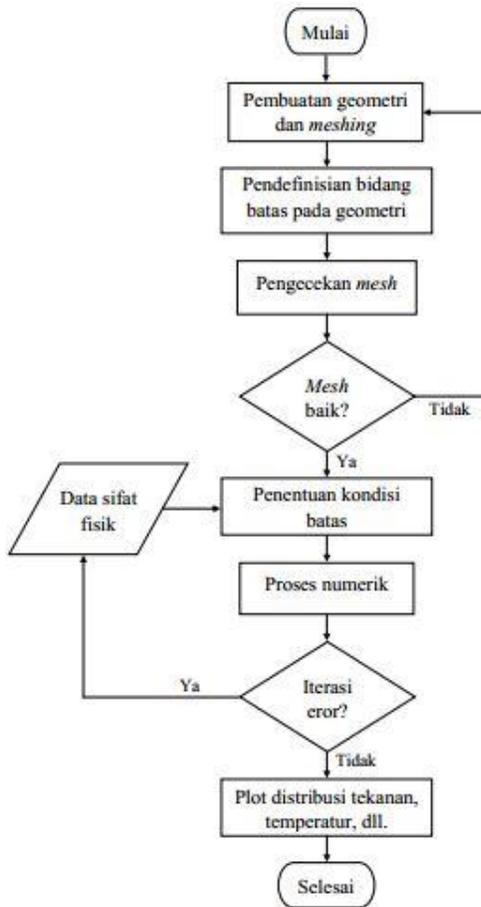
### a. Perangkat penelitian

Penelitian ini menggunakan perangkat sebagai berikut :

1. Laptop asus X550z : dengan Prosesor AMD A10 – 7400P Radeon R6, 10 Compute cores 4C+6G 2,50 GHz dengan RAM 4.00 GB, HDD 1TB type 64-bit.
2. Aplikasi CFD ANSYS 15.0

### b. Diagram alir penelitian

Pengaplikasian metode CFD digunakan antara lain kemampuannya untuk memperoleh parameter-parameter pengujian tanpa harus melakukan secara aktual. Secara umum proses simulasi CFD dibagi menjadi tiga tahapan yaitu Pre-Processing, Processing, dan Post-Processing.



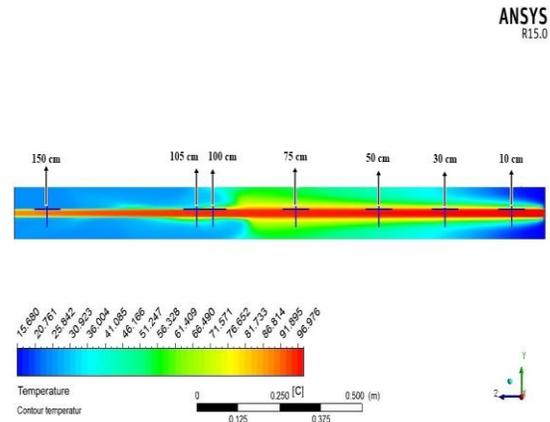
**Gambar 2.1** Diagram Alir Proses Simulasi

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini menjelaskan tentang profil temperatur untuk kondensasi uap air panas posisi aksial pada pipa konsentrik horisontal untuk variasi laju aliran massa *inlet*. Pola aliran temperatur diperlihatkan pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.5 merupakan hasil dari simulasi untuk melihat pola aliran temperatur pada posisi melintang pada pipa konsentrik *horizontal* ke arah sumbu z.

#### a. Hasil Penelitian

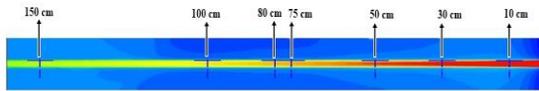
- a. Profil temperatur pada variasi ( $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ ) dari sisi inlet



**Gambar 3.1** Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ( $P_{sti} = 108825 \text{ Pa}$ ,  $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ )

Gambar 3.1 menunjukkan pola aliran temperatur pada pipa horisontal di sisi aksial. Pada sisi aksial terdapat perbedaan warna akibat terjadinya penurunan temperatur uap dari sisi inlet ke outlet, pada perlakuan pendinginan uap air panas di sisi atas, bawah dan samping. Pada titik 10 cm sampai 30 cm mengalami kenaikan temperatur sebesar  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  dari sisi inlet, sedangkan di titik 75 cm sampai dengan 150 cm mengalami penurunan temperatur yang sangat tajam. Pada variasi ini mengindikasikan bahwa di titik 100 cm sampai 105 cm dari inlet tersebut sedang terjadi kondensasi dengan *dew point*  $80,12 \text{ }^\circ\text{C}$ .

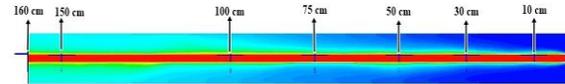
- b. Profil temperatur pada variasi ( $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ Kg/s}$ ) dari sisi inlet



**Gambar 3.2** Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ( $P_{st,i} = 108825 \text{ Pa}$ ,  $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ )

Gambar 3.2 menunjukkan pola aliran temperatur pada pipa horisontal di sisi aksial. Pada sisi aksial terdapat perbedaan warna akibat dari penurunan temperatur uap dari sisi inlet ke outlet, diperlihatkan dengan perubahan warna pada pipa uap. Terlihat bahwa penurunan temperatur dari sisi atas, bawah, dan samping di titik 10 cm sampai dengan 75 cm terlihat konstan dari sisi inlet. Sedangkan pada titik 75 cm sampai 150 cm selisih penurunan suhunya sebesar  $9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pada variasi ini terjadi kondensasi di titik 75 cm sampai 100 cm dari sisi inlet dengan *dew point*  $57,02 \text{ }^\circ\text{C}$ .

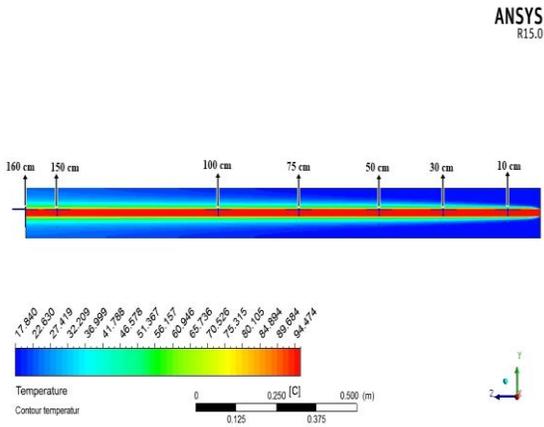
- c. Profil temperatur pada variasi ( $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ ) dari sisi inlet



**Gambar 3.3** Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ( $P_{st,i} = 108825 \text{ Pa}$ ,  $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ )

Gambar 3.3 menunjukkan pola aliran temperatur uap pada pipa konsentrik horisontal di sisi aksial. Pada sisi aksial terdapat perbedaan warna akibat pola aliran temperatur uap pada setiap posisi atas, bawah dan samping. Penurunan temperatur yang hampir konstan pada titik 10 cm sampai dengan 75 cm dan di titik 75 cm sampai 150 cm penurunannya tidak terlalu drastis hanya selisih  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  dari sisi inlet. Pada variasi ini terjadi kondensasi pada titik 160 cm mendekati outlet dengan *dew point*  $80,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

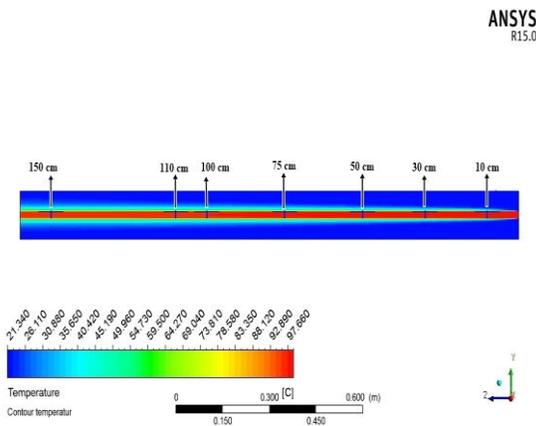
- d. Profil temperatur pada variasi ( $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ ) dari sisi inlet



**Gambar 3.4** Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ( $P_{sti} = 108825 \text{ Pa}$  ,  $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ )

Gambar 4.4 menunjukkan pola aliran temperatur pada pipa konsentrik horisontal di sisi aksial. Pada sisi aksial terdapat perbedaan warna akibat penurunan temperatur uap. Penurunan temperatur uap pada posisi atas, samping, dan bawah di titik 10 cm sampai dengan 150 cm dari sisi inlet hanya selisi 1 °C. Sedangkan terjadi kondensasi di titik 160 cm mendekati outlet dengan *dew point* 68,34 °C.

- e. Profil temperatur pada variasi ( $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$ ) dari sisi inlet

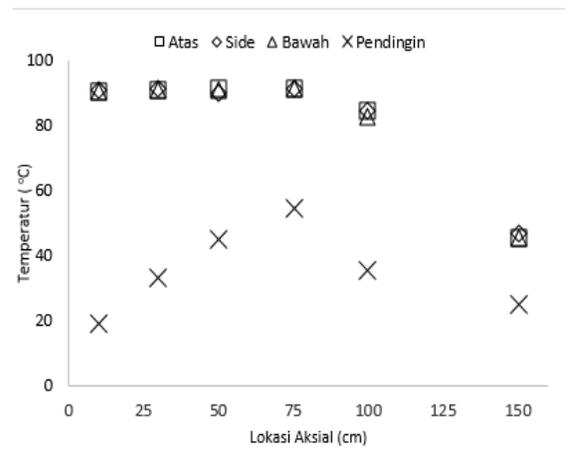


**Gambar 3.5** Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ( $P_{sti} = 108825 \text{ Pa}$  ,  $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$ )

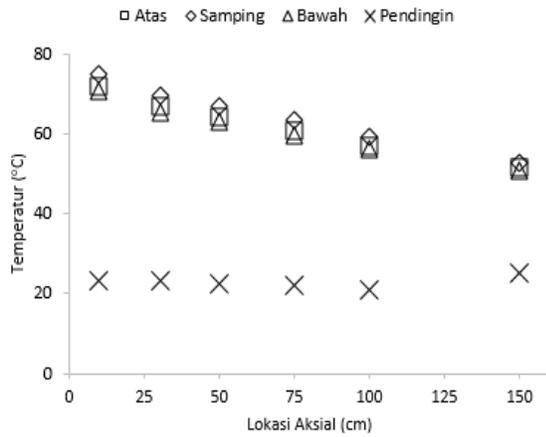
Gambar 3.5 menunjukkan pola aliran temperatur pada pipa konsentrik horisontal di posisi aksial. Pada sisi aksial terdapat perbedaan warna akibat pola aliran temperatur uap air panas. Penurunan temperatur uap air panas pada posisi atas, bawah, dan samping di titik 10 cm sampai dengan 75 cm pola aliran temperatur uap air panas hampir konstan. Di titik 75 cm sampai dengan 150 cm penurunan suhu selisihnya 2 °C. Sedangkan terjadi kondensasi pada titik 100 cm sampai 150 cm dengan dew point 93,36 °C.

### b. Pembahasan

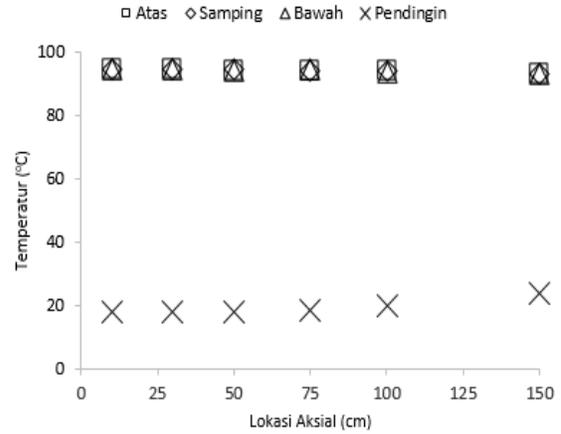
Data temperatur dari hasil simulasi akan ditunjukkan pada gambar 3.6 sampai 3.10. Data diambil berdasarkan lokasi atas, samping dan bawah dari uap air panas.



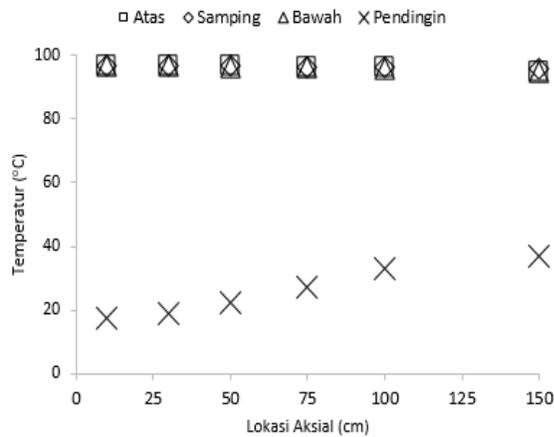
**Gambar 3.6** Grafik Temperatur Pada Posisi Aksial ( $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ )



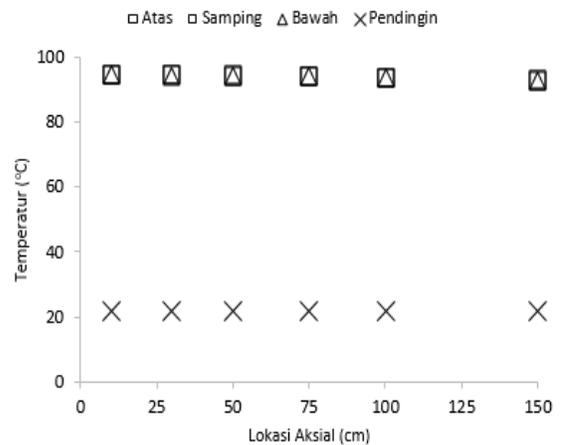
**Gambar 3.7** Grafik Temperatur Pada Posisi Aksial ( $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ )



**Gambar 3.9** Grafik Temperatur Pada Posisi Aksial ( $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ )



**Gambar 3.8** Grafik Temperatur Pada Posisi Aksial ( $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ )



**Gambar 3.10** Grafik Temperature Pada Posisi Aksial ( $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$ )

Gambar 3.6 sampai Gambar 3.10 menggambarkan pola aliran temperatur pada sisi aksial pipa anulus horisontal. Gambar 3.6 terdapat hasil dari simulasi pengukuran temperatur yang hampir konstan pada titik 10 cm sampai dengan 75 cm. Sedangkan pada titik 100 cm diarah samping dan bawah terlihat konstan dengan besaran di titik bawah terlihat rendah hal ini mengindikasikan sedang terjadi kondensasi di bawah titik 100 cm. kemudian pada titik 150

cm pada posisi atas, bawah dan samping cenderung mengalami penurunan temperatur kebawah secara tajam. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi kondensasi pada titik ini. Diperkirakan pada variasi  $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4}$  kg/s ini telah terjadi pola aliran *wavy*. Pada *dew point* 80,12 °C terjadi diantara titik 100 cm dan 150 cm.

Gambar 3.7 pada variasi  $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3}$  kg/s terdapat hasil dari simulasi pengukuran temperatur yang hampir konstan pada titik 10 cm sampai 75 cm pada posisi atas, bawah, dan samping dari sisi inlet. Sedangkan di titik 75 cm sudah terjadi kondensasi sampai dengan 150 cm dari sisi inlet. Diperkirakan Pada variasi  $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3}$  kg/s sudah terjadi pola aliran *wavy*. Pada *dew point* 57,02 °C.

Berdasarkan Gambar 3.8 dan 3.9 dapat dijelaskan temperatur pada titik 10 cm sampai 75 cm dari inlet pada posisi atas, bawah, dan samping berturut-turut juga relatif konstan dengan besaran pada posisi bawah lebih rendah sedangkan pada titik 75 cm sampai dengan 150 cm penurunan hanya sebesar 1 °C terjadi kondensasi setelah titik 150 cm dari inlet. Sedangkan pada gambar 3.10 terlihat pada titik 10 cm sampai titik 75cm dari sisi atas bawah dan samping terlihat konstan. Sedangkan pada titik 100 cm sampai 150 cm sedang terjadi kondensasi pada titik ini. Diperkirakan pada variasi  $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2}$  kg/s telah terjadi pola aliran *wavy*. Pada *dew point* 93.36 °C karena di titik ini temperaturnya sudah di bawah suhu saturasi.

### c. Menentukan titik *dew point*

Kekurangan pada penelitian ini adalah hasil dari simulasi hanya menunjukkan profil temperatur berdasarkan warna, sehingga fenomena kondensasi pada aliran uap yang memungkinkan terjadi didalam system simulasi, ini tidak muncul secara visual.

Untuk itu, guna mengetahui terjadinya fenomena kondensasi agar lebih spesifik letak terjadinya kondensasi maka dilakukan pengecekan secara teoritis dengan menghitung *dew point* (Tdp) untuk masing-masing variasi percobaan.

a. *Dew point* untuk  $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4}$  kg/s

Diketahui,

$$T_1 = 97,721 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (dengan tekanan jenuh air sebesar 93,75 kPa)}$$

$$T_2 = 81,113 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (dengan tekanan jenuh air sebesar 49,74 kPa)}$$

$$P = 101,325 \text{ kPa}$$

$$h_{g1} = 2671,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f2} = 339,69 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg2} = 2305,1 \text{ kJ/kg}$$

$$C_{p,steam} = 1,8723 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_{dp} = T_{sat@P_v}$$

$$P_v = \phi P_{g@97.721 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\phi = \frac{\omega_1 P_2}{(0,622 + \omega_1) P_{g1}}$$

$$\omega_1 = \frac{C_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 49,74}{101,325 - 49,74} = 0,59$$

kg H<sub>2</sub>O/kg *dry air*

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (81,113 - 97,721) + 0,59 \times 2305,1}{2671,8 - 339,69} = 0,56$$

kg H<sub>2</sub>O/kg *dry air*

$$\phi = \frac{0,56 \times 101,325}{(0,622 + 0,56) 93,75} = 0,51$$

Sehingga,

$$P_v = 0,51 \times 93,75 = 47,81 \text{ kPa}$$

$$T_{dp} = T_{sat \text{ 47,81 kPa}} = 80,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

b. Dew point untuk  $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$

Diketahui,

$$T_1 = 103,94 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (dengan tekanan jenuh air sebesar 116,77 kPa)}$$

$$T_2 = 62,276 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (dengan tekanan jenuh air sebesar 22,26 kPa)}$$

$$P = 101,325 \text{ kPa}$$

$$h_{g1} = 2681,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f2} = 260,71 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg2} = 2352,10 \text{ kJ/kg}$$

$$C_{p,steam} = 1,8723 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_{dp} = T_{sat@P_v}$$

$$P_v = \phi P_{g@97.721 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\phi = \frac{\omega_1 P_2}{(0,622 + \omega_1) P_{g1}}$$

$$\omega_1 = \frac{C_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 22,26}{101,325 - 22,26} = 0,17$$

kg H<sub>2</sub>O/kg dry air

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (62,276 - 103,94) + 0,17 \times 2352,10}{2681,7 - 260,71} = 0,13$$

kg H<sub>2</sub>O/kg dry air

$$\phi = \frac{0,13 \times 101,325}{(0,622 + 0,13) 116,77} = 0,15$$

Sehingga,

$$P_v = 0,15 \times 116,77 = 17,51 \text{ kPa}$$

$$T_{dp} = T_{sat \text{ 17,51 kPa}} = 57,02 \text{ }^\circ\text{C}$$

c. Dew point untuk  $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$

Diketahui,

$$T_1 = 98,548 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (dengan tekanan jenuh air sebesar 96,53 kPa)}$$

$$T_2 = 81,476 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (dengan tekanan jenuh air sebesar 50,5 kPa)}$$

$$P = 101,325 \text{ kPa}$$

$$h_{g1} = 2673,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f2} = 341,21 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg2} = 2304,2 \text{ kJ/kg}$$

$$C_{p,steam} = 1,8723 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_{dp} = T_{sat@P_v}$$

$$P_v = \phi P_{g@98.548 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\phi = \frac{\omega_1 P_2}{(0,622 + \omega_1) P_{g1}}$$

$$\omega_1 = \frac{C_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 50,5}{101,325 - 50,5} = 0,61$$

kg H<sub>2</sub>O/kg dry air

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (81,476 - 98,548) + 0,61 \times 2304,2}{2673,2 - 341,21} = 0,58$$

kg H<sub>2</sub>O/kg dry air

$$\phi = \frac{0,58 \times 101,325}{(0,622 + 0,58) 96,53} = 0,50$$

Sehingga,

$$P_v = 0,50 \times 96,53 = 48,265 \text{ kPa}$$

$$T_{dp} = T_{sat \text{ 48,265 kPa}} = 80,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

d. Dew point untuk  $\dot{m}_{co,i} = 2.7 \times 10^{-3}$  kg/s

Diketahui,

$$T_1 = 96,07 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{dengan tekanan jenuh air sebesar } 88,20 \text{ kPa})$$

$$T_2 = 94,198 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{dengan tekanan jenuh air sebesar } 82,29 \text{ kPa})$$

$$P = 101,325 \text{ kPa}$$

$$h_{g1} = 2669,3 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f2} = 394,71 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg2} = 2276,6 \text{ kJ/kg}$$

$$C_{p,steam} = 1,8723 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_{dp} = T_{sat@P_v}$$

$$P_v = \phi P_{g@96,07 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\phi = \frac{\omega_1 P_2}{(0,622 + \omega_1) P_{g1}}$$

$$\omega_1 = \frac{C_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 82,29}{101,325 - 82,29} = 2,68$$

kg H<sub>2</sub>O/kg dry air

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (94,198 - 96,07) + 2,68 \times 2276,6}{2669,3 - 394,71} = 0,26$$

kg H<sub>2</sub>O/kg dry air

$$\phi = \frac{0,26 \times 101,325}{(0,622 + 0,26) 88,20} = 0,33$$

Sehingga,

$$P_v = 0,33 \times 88,20 = 29,106 \text{ kPa}$$

$$T_{dp} = T_{sat \text{ } 29,106 \text{ kPa}} = 68,34 \text{ }^\circ\text{C}$$

e. Dew point untuk  $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2}$  kg/s

Diketahui,

$$T_1 = 99,252 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{dengan tekanan jenuh air sebesar } 98,90 \text{ kPa})$$

$$T_2 = 93,697 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{dengan tekanan jenuh air sebesar } 80,84 \text{ kPa})$$

$$P = 101,325 \text{ kPa}$$

$$h_{g1} = 2674,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f2} = 392,6 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg2} = 2272,9 \text{ kJ/kg}$$

$$C_{p,steam} = 1,8723 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_{dp} = T_{sat@P_v}$$

$$P_v = \phi P_{g@97,091 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\phi = \frac{\omega_1 P_2}{(0,622 + \omega_1) P_{g1}}$$

$$\omega_1 = \frac{C_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 80,84}{101,325 - 80,84} = 2,45$$

kg H<sub>2</sub>O/kg dry air

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (93,697 - 99,252) + 2,45 \times 2272,9}{2674,4 - 392,6} = 2,43$$

kg H<sub>2</sub>O/kg dry air

$$\phi = \frac{2,43 \times 101,325}{(0,622 + 2,43) 98,90} = 0,81$$

Sehingga,

$$P_v = 0,81 \times 98,90 = 80,109 \text{ kPa}$$

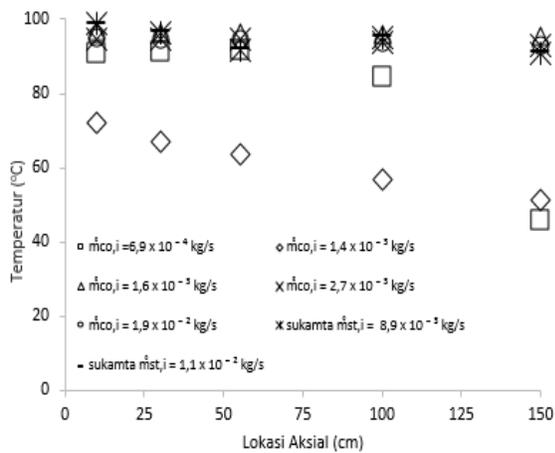
$$T_{dp} = T_{sat \text{ } 80,109 \text{ kPa}} = 93,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### d. Hasil perbandingan eksperimental dengan simulasi

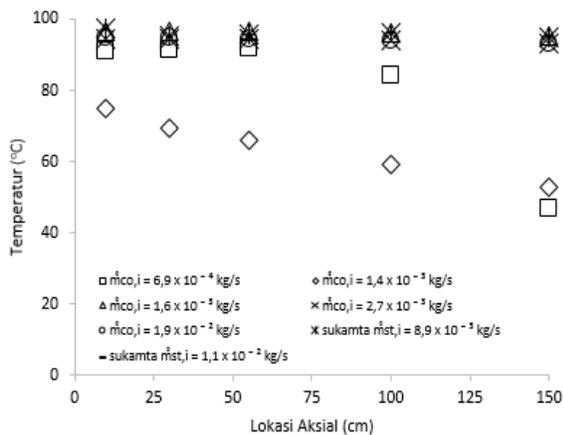
Sebelumnya pernah dilakukan percobaan eksperimental dengan kasus yang serupa dengan laju aliran massa uap air yang

dilakukan oleh Sukamta dkk (2011). Hasil dari percobaan eksperimental tersebut dijadikan perbandingan dengan hasil simulasi menggunakan Ansys dengan laju aliran masa air pendingin. Dari hasil perbandingan antara eksperimental dengan simulasi didapatkan hasil sebagai berikut:

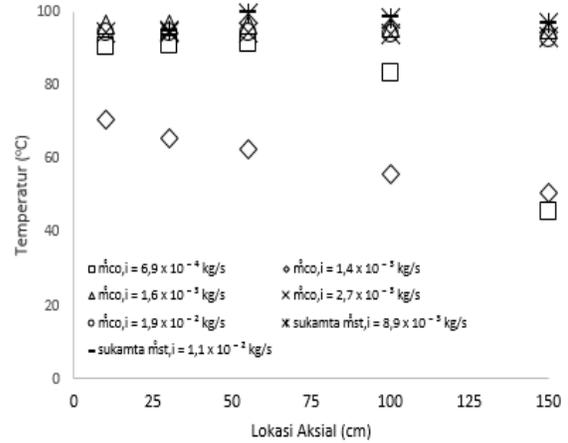
- a. Grafik hasil perbandingan percobaan eksperimental 11 dan 12 pada variasi  $\dot{m}_{st,i} = 8,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  dan  $\dot{m}_{st,i} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$



**Gambar 3.11** Grafik profil temperatur pada posisi atas di dalam pipa aksial



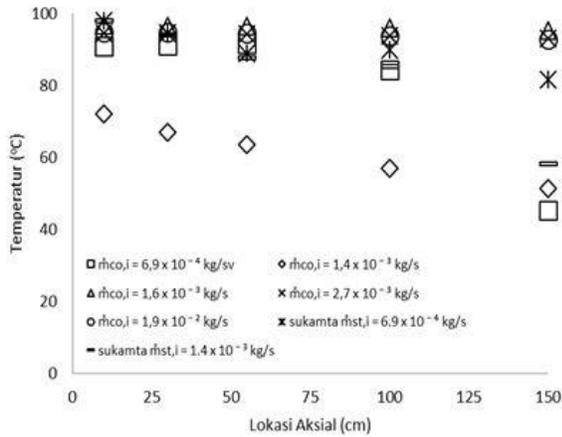
**Gambar 3.12** Grafik profil temperatur pada posisi samping di dalam pipa aksial



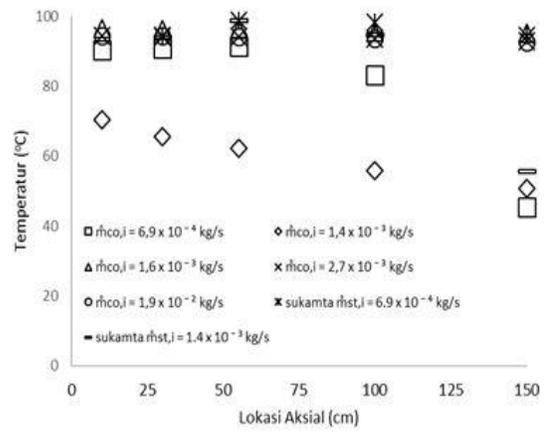
**Gambar 3.13** Grafik profil temperatur pada posisi bawah di dalam pipa aksial

Dari hasil perbandingan eksperimental dengan simulasi di dapat hasil seperti di atas pada variasi laju aliran massa uap air  $\dot{m}_{st,i} = 8,9 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$  dan  $\dot{m}_{st,i} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$  pada posisi atas, bawah dan samping. Memiliki pola aliran yang serupa dengan hasil dari simulasi laju aliran massa air pendingin pada tiga variasi  $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$  dan  $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$ . Hasil simulasi yang berbeda ditunjukkan oleh variasi laju aliran massa air pendingin  $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  dan  $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$  dengan penurunan temperatur yang sangat tajam pada titik 100 cm dan 150 cm.

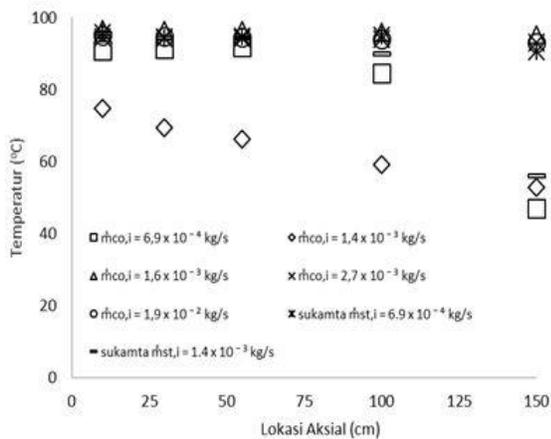
- b. Grafik hasil perbandingan percobaan eksperimental 6 dan 7 pada variasi  $\dot{m}_{st,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  dan  $\dot{m}_{st,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$



**Gambar 3.14** Grafik profil temperatur pada posisi atas di dalam pipa aksial



**Gambar 3.16** Grafik profil temperatur pada posisi samping di dalam pipa



**Gambar 4.15** Grafik profil temperatur pada posisi samping di dalam pipa

Dari hasil perbandingan eksperimental dengan simulasi didapat hasil seperti di atas dengan variasi laju aliran massa uap air  $m_{st,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  dan  $m_{st,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$  pada posisi atas, bawah dan samping memiliki pola aliran yang hampir sama. Bedanya temperatur pada hasil simulasi lebih kecil dari hasil eksperimental pada variasi laju aliran massa uap air  $m_{st,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$  temperatur pada titik 150 cm suhu besarnya  $50^\circ\text{C}$  pada posisi atas, bawah dan samping dari sisi inlet. Sedangkan hasil dari simulasi pada variasi yang sama temperaturnya sebesar  $40^\circ\text{C}$ . Pada variasi  $m_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  di titik yang sama. Hasil yang berbeda diperlihatkan oleh eksperimental pada variasi  $m_{st,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  dengan hasil temperatur lebih besar dari hasil simulasi pada variasi yang sama.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan penelitian, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pola aliran temperatur pada lima variasi cenderung memiliki perbedaan penurunan temperatur pada tiap variasi laju aliran massa uap air pendingin.

2. Fenomena kondensasi yang terjadi di dalam pipa konsentrik horisontal pada lima variasi berbeda. Variasi  $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4}$  kg/s,  $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2}$  kg/s terjadi kondensasi mendekati titik 100 cm dari inlet. Sedangkan variasi  $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3}$  Kg/s terjadi kondensasi mendekati titik 75 cm. Hasil yang berbeda ditunjukkan pada variasi  $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3}$  kg/s dan  $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3}$  kg/s yang mengalami kondensasi mendekati titik outlet.
3. Fenomena kondensasi mempengaruhi pola aliran pada pipa yang bisa menimbulkan ketidakstabilan pada aliran fluida yang dapat menyebabkan gelombang pada aliran fluida.
4. Dari hasil perbandingan simulasi dan eksperimental dapat disimpulkan hasil dari distribusi pola aliran pada percobaan simulasi lebih kecil dibandingkan hasil eksperimental. Perbedaan distribusi temperatur tersebut bisa di sebabkan faktor lingkungan yang bisa mempengaruhi hasil dari eksperimental.

### Referensi

- Akhtari, M., dkk., 2013. *Numerical and Experimental Investigation of Heat Transfer of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Water Nanofluid in Double Pipe and Shell and Tube Heat Exchanger*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Afolabi, Eyitayo. A. 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.
- Asinari Pietro, PhD. 2007. *Multiphase Flow Basic Physics and Engineering Modeling*.
- Anslys Fluent User's Guide. 2013. Ansys, Inc. USA.
- 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.
- Ghisaasia, S.M. 2008. *Two Phase Fplow, Boiling, and Condensation in Conventional and Miniatur System*. Cambridge University Press Cambridge.
- Munson, dkk. 2013. *Fundamental of Fluid Mechanics*. John wiley & Son, Inc.
- 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.
- 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.
- Sukamta, dkk. 2011. *Temperature Profiles Based on Multilocation of Condensation of Steam Flow Cooled With Parallel Flowing Water in the Outside of a Horizontal Pipe*.
- Tuakia, Firman. 2008. *Dasar-dasar CFD Menggunakan Fluent*. Informatika. Bandung.
- Versteeg H. K and Malalasekera. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*.