BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

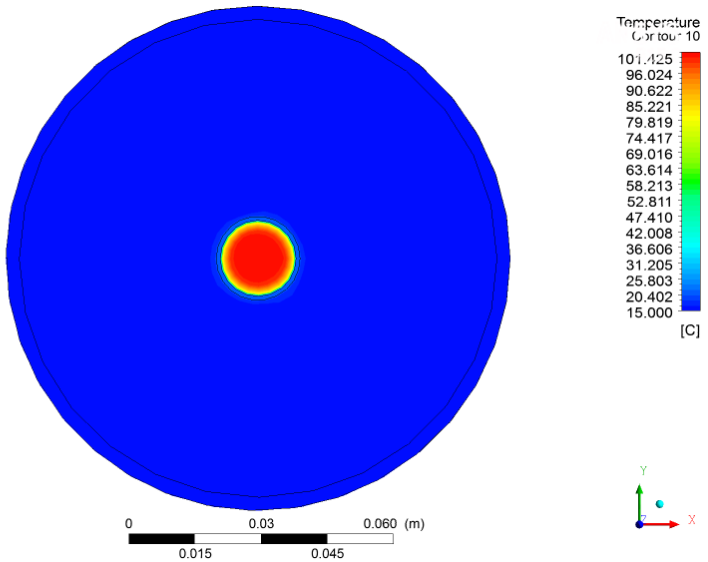
4.1 Hasil Penelitian

Bab ini akan membahas hasil penelitian distribusi temperatur uap air pada pipa konsentrik horisontal yang secara lebih dalam akan dibahas pada sub bab 4.2 dengan parameter kondisi batas yang digunakan adalah sebagai berikut :

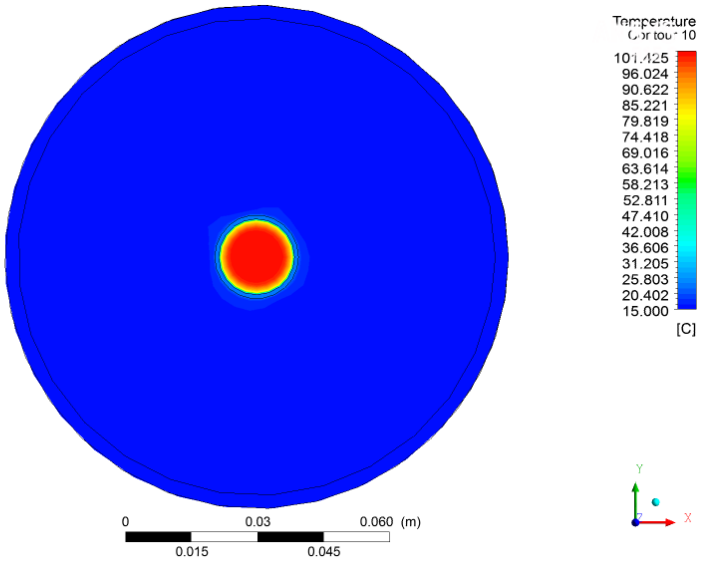
- Laju aliran massa inlet air pendingin ($\dot{m}_{co,in}$) = 4,23 x 10^{-1} kg/s
- Temperatur inlet air pendingin ($T_{co,in}$) = 15 °C
- Temperatur outlet air pendingin ($T_{co,out}$) = 30 °C
- Tekanan outlet air pendingin ($P_{co,out}$) = 4,2469 kPa
- Temperatur inlet uap air ($T_{st,in}$) = 103,226 °C
- Variasi laju aliran massa uap air ($\dot{m}_{st,in}$) 5,9 x 10^{-3} kg/s, 8,9 x 10^{-3} kg/s, dan 1,9 x 10^{-2} kg/s.

Hasil dan pembahasan akan di fokuskan pada distribusi temperatur arah *circumferential* di sepanjang lokasi aksial pipa konsentrik.

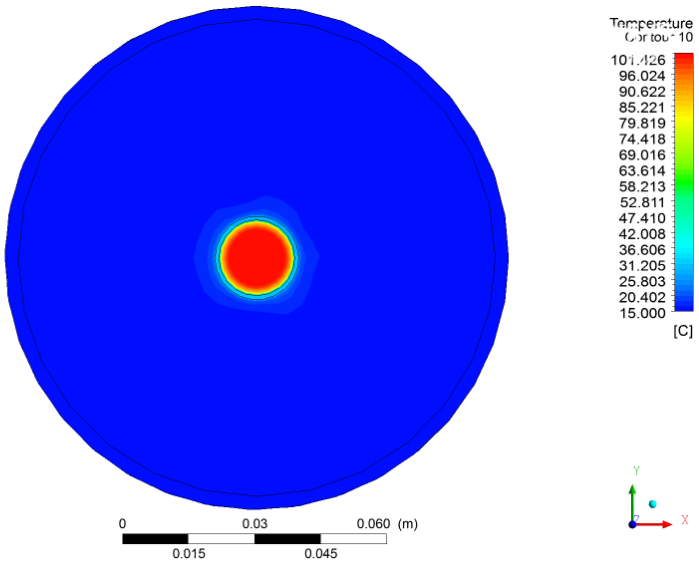
a. Profil temperatur pada lokasi aksial 10 cm dari inlet



Gambar 4.1. Profil temperatur pada 10 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s)



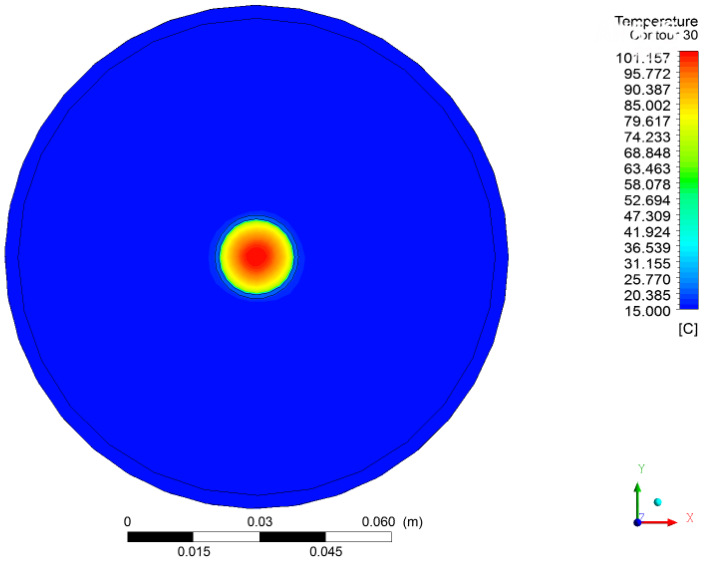
Gambar 4.2. Profil temperatur pada 10 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s)



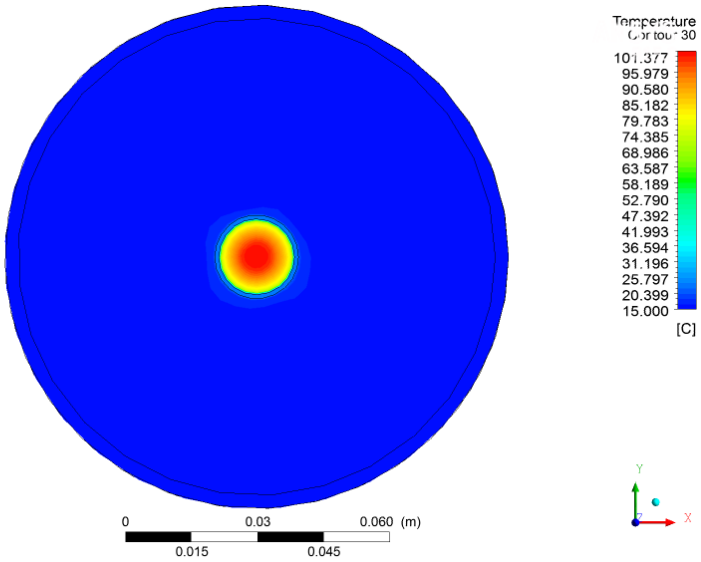
Gambar 4.3. Profil temperatur pada 10 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s)

Dari hasil diatas menunjukkan bahwa gambar 4.3 dengan $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s memiliki kecenderungan temperatur lebih tinggi dibanding dengan variasi lainnya dengan temperatur pada arah *circumferential* (atas, samping, dan bawah) berturut-turut sebesar 102,59 °C, 102,62 °C, dan 102,56 °C, dan untuk $\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 100,46 °C, 100,95 °C, dan 100,33 °C, dan $\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 101,46 °C, 101,67 °C, dan 101,31 °C.

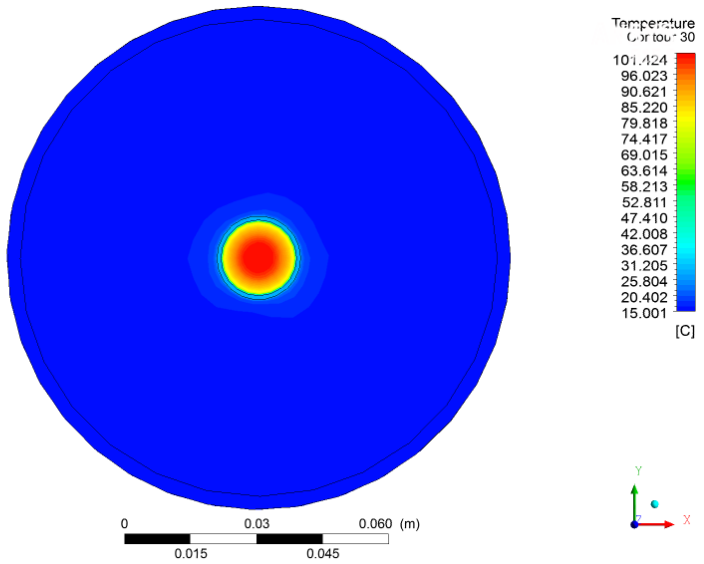
b. Profil temperatur pada lokasi aksial 30 cm dari inlet



Gambar 4.4. Profil temperatur pada 30 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s)



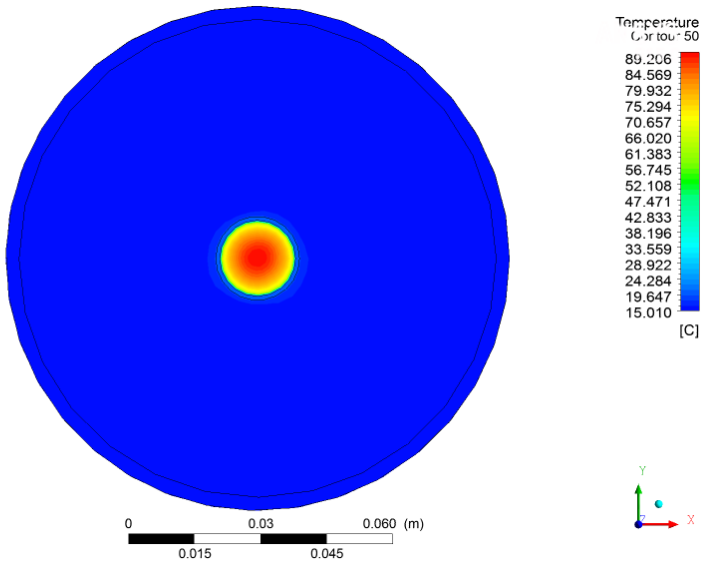
Gambar 4.5. Profil temperatur pada 30 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s)



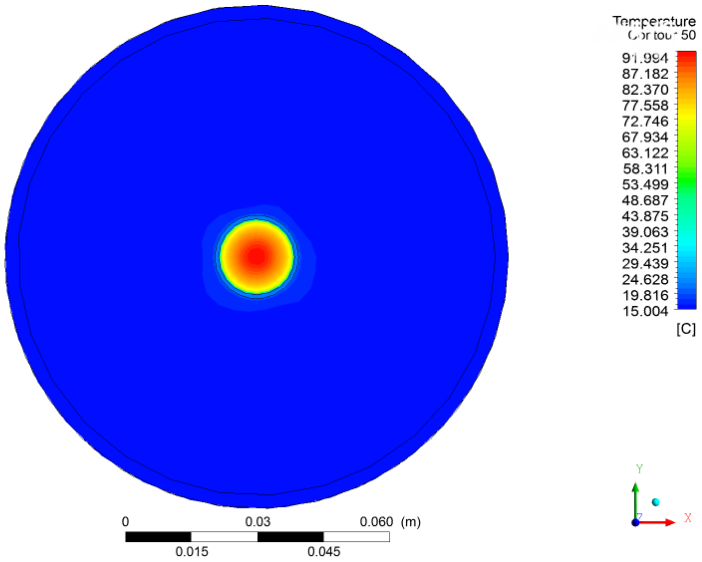
Gambar 4.6. Profil temperatur pada 30 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s)

Pada posisi 30 cm dari inlet kecenderungan profil temperatur masih sama dengan posisi 10 cm dari inlet. Untuk $\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s distribusi temperatur pada posisi *circumferential* sebesar 86,62 °C, 87,77 °C, dan 86,76 °C. Untuk $\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 88,67 °C, 88,98 °C, dan 88,23 °C. Sedangkan untuk $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s sebesar 91,48 °C, 91,68 °C, dan 91,36 °C.

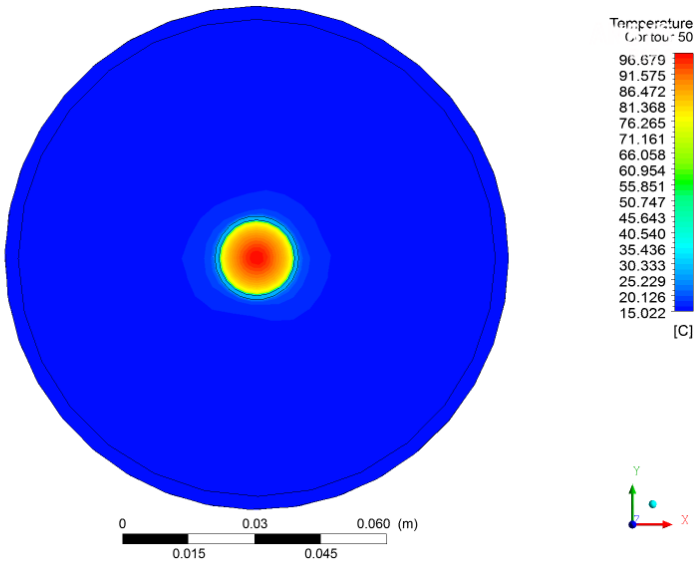
c. Profil temperatur pada lokasi aksial 55 cm dari inlet



Gambar 4.7. Profil temperatur pada 55 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s)



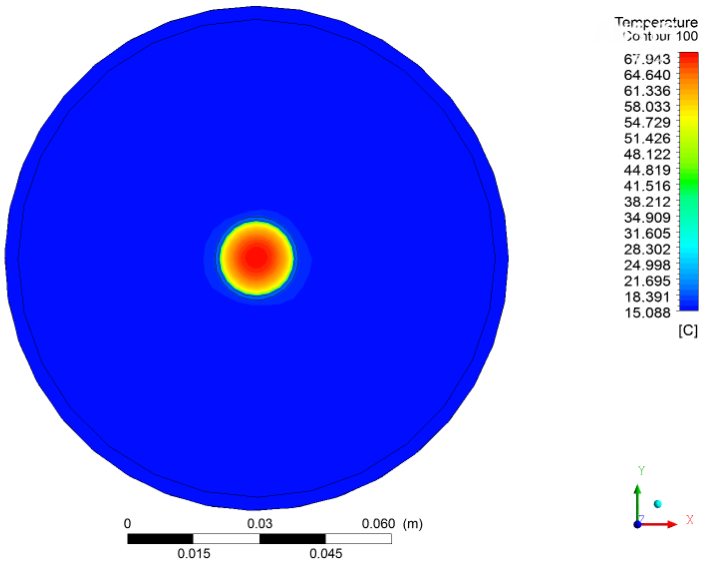
Gambar 4.8. Profil temperatur pada 55 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s)



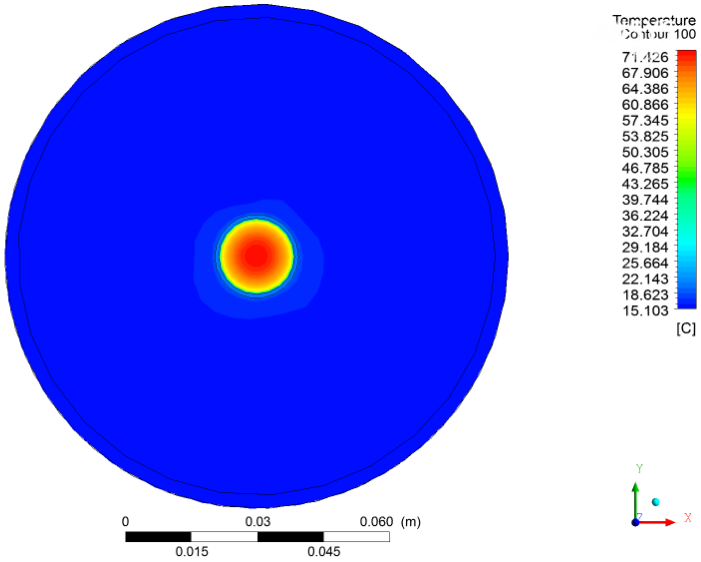
Gambar 4.9. Profil temperatur pada 55 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s)

Pada posisi 55 cm dari inlet, profil temperatur untuk $\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 77,26 ºC, 77,92 ºC, dan 77,38 ºC, $\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 80,02 ºC, 80,23 ºC, dan 79,82 ºC, sedangkan untuk $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s sebesar 84,26 ºC, 84,34 ºC, dan 84,21 ºC.

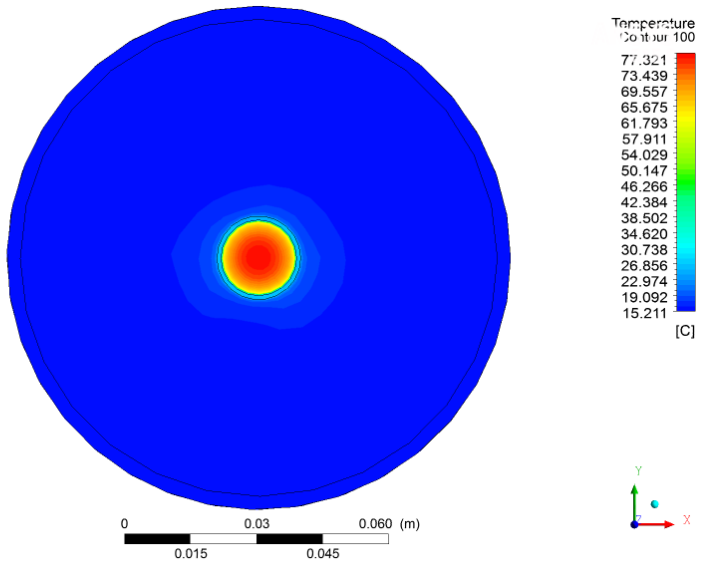
d. Profil temperatur pada lokasi aksial 100 cm dari inlet



Gambar 4.10. Profil temperatur pada 100 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s)



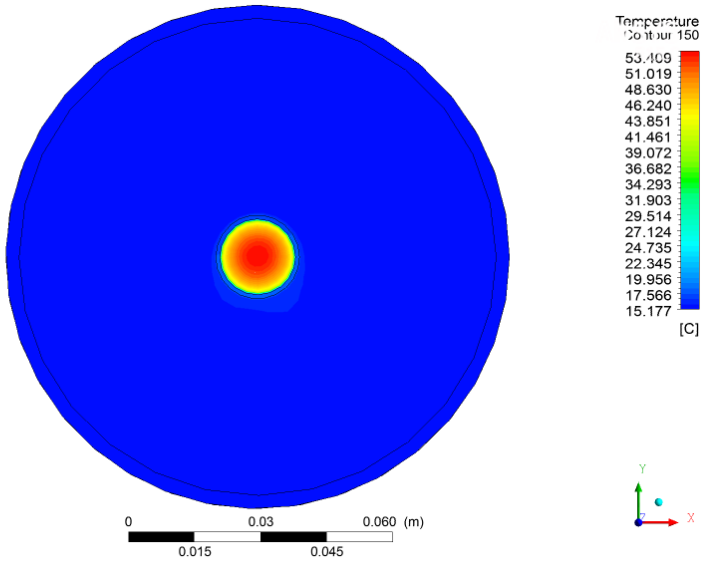
Gambar 4.11. Profil temperatur pada 100 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s)



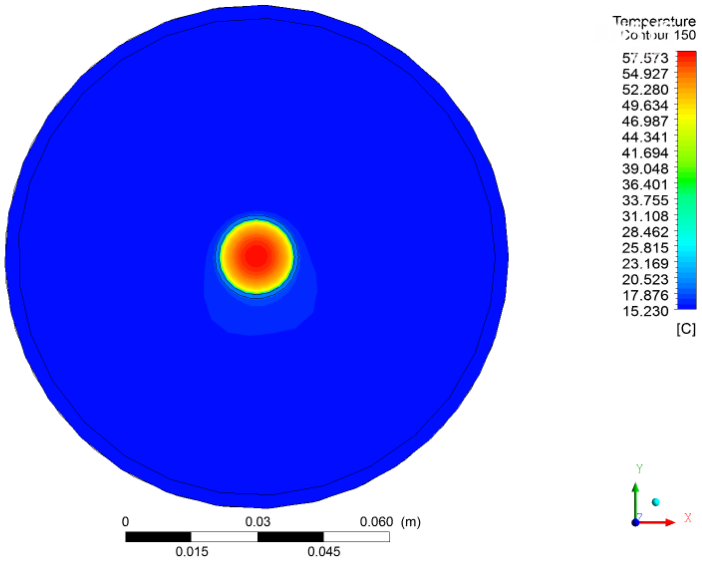
Gambar 4.12. Profil temperatur pada 100 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s)

Pada posisi 100 cm dari inlet, profil temperatur untuk $\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 62 ºC, 62,27 ºC, dan 61,89 ºC, $\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 65,74 ºC, 65,77 ºC, dan 65,49 ºC, sedangkan untuk $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s sebesar 72,14 ºC, 72,17 ºC, dan 72,08 ºC.

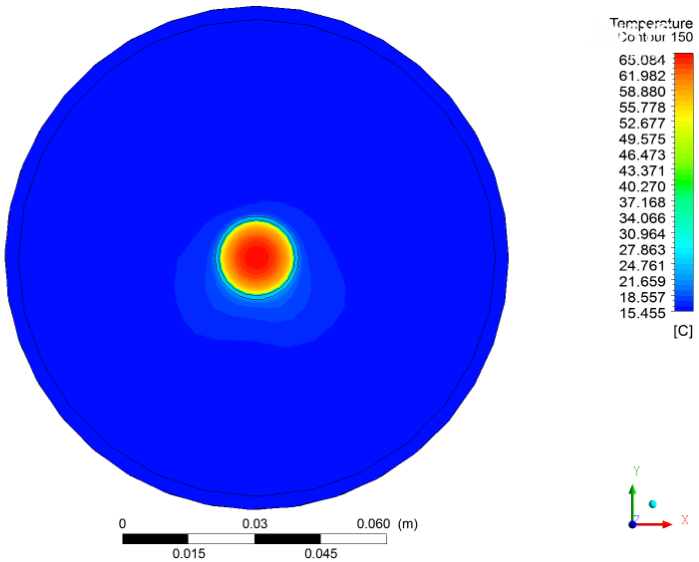
e. Profil temperatur pada lokasi aksial 150 cm dari inlet



Gambar 4.13. Profil temperatur pada 150 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s)



Gambar 4.14. Profil temperatur pada 150 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s)

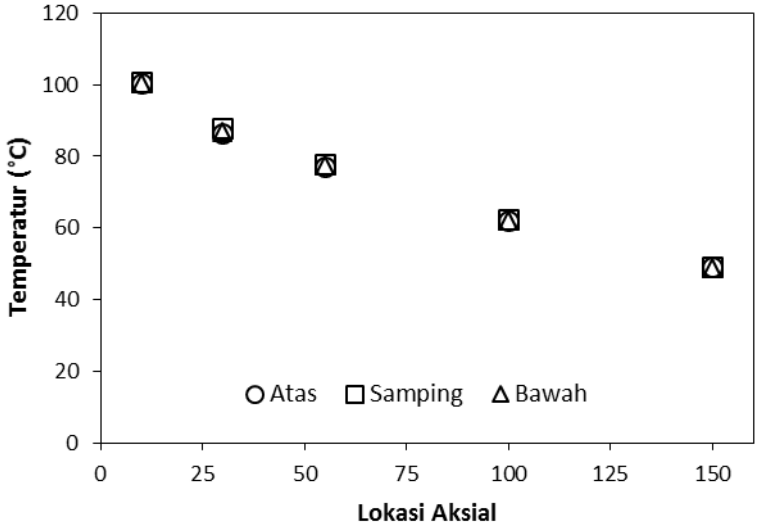


Gambar 4.15. Profil temperatur pada 150 cm dari inlet ($\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s)

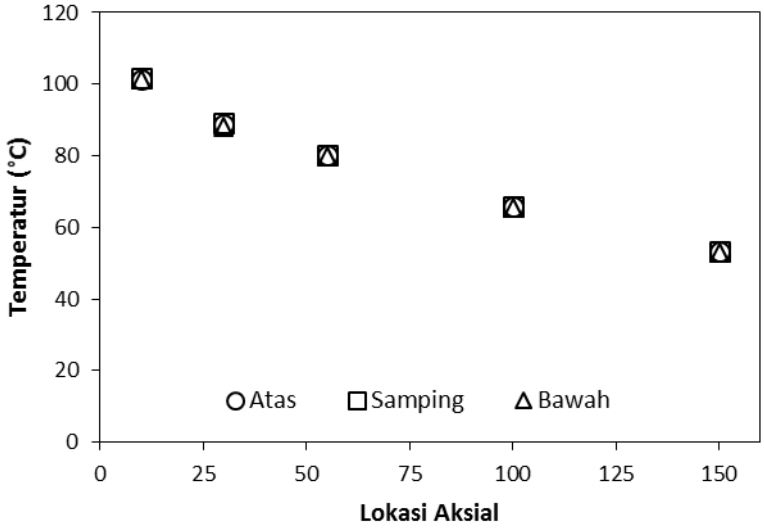
Pada posisi 100 cm dari inlet, profil temperatur untuk $\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 49,07 ºC, 49,30 ºC, dan 48,93 ºC, $\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s sebesar 53,26 ºC, 53,27 ºC, dan 53,04 ºC, sedangkan untuk $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s sebesar 60,86 ºC, 60,88 ºC, dan 60,80 ºC.

4.2 Pembahasan

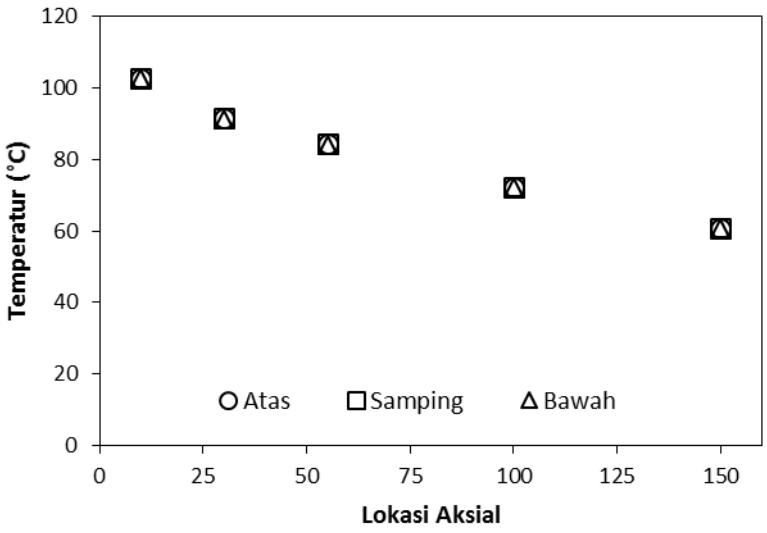
Dari hasil simulasi di atas, secara statistik dapat ditunjukkan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.16. Grafik profil temperatur dengan $\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s



Gambar 4.17. Grafik profil temperatur dengan $\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s



Gambar 4.18. Grafik profil temperatur dengan $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s

Gambar 4.16, 4.17, dan 4.18 menunjukkan bahwa variasi laju aliran massa uap air yang diberikan dalam penelitian ini memiliki kecenderungan pola penurunan temperatur yang sama. Selisih dari variasi yang diberikan tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan terhadap hasil yang diperoleh. Tetapi dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa besar laju aliran massa uap air berbanding terbalik dengan besar penurunan temperatur yang terjadi. Hal ini dapat dilihat dari hasil yang ditunjukkan oleh variasi $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s yang memiliki temperatur lebih tinggi dibanding dengan variasi lainnya.

Kekurangan pada penelitian ini adalah hasil simulasi hanya menunjukkan profil temperatur berdasarkan warna. Sehingga fenomena kondensasi yang memungkinkan terjadi di dalam sistem tidak dapat diketahui secara visual. Untuk itu, guna mengetahui terjadinya fenomena kondensasi dan lebih spesifik letak terjadinya kondensasi, maka dilakukan pengecekan secara teoritis dengan menghitung *dew point temperature* (Tdp) untuk masing-masing variasi percobaan.

a. *Dew point* untuk $\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s

Diketahui,

T_1 = 103,226 °C (dengan tekanan jenuh air sebesar 113,99 kPa)

T_2 = 88,14 °C (dengan tekanan jenuh air sebesar 65,60 kPa)

P = 101,325 kPa

h_{g1} = 2680,63 kJ/kg

h_{f2} = 369,22 kJ/kg

h_{fg2} = 2287,26 kJ/kg

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

Tdp = $T_{sat@Pv}$

Pv = $\phi_{Pg@103,226}$ °C

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

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

$$\omega_2 = \frac{0{,}622 \, P_{g2}}{P - P_{g2}} = \frac{0{,}622 \text{ x } 65{,}60}{101{,}325 - 65{,}60} = 1{,}14 \quad \text{kg } H_2O\text{/kg dry air}$$

$$\omega_1 = \frac{1{,}8723 \text{ x } (88{,}14 - 103{,}226) + 1{,}14 \text{ x } 2287{,}26}{2680{,}63 - 369{,}22} = 1{,}16 \text{ kg } H_2O\text{/kg dry air}$$

$$\phi = \frac{1{,}16 \text{ x } 101{,}325}{(0{,}622 + 1{,}16)113{,}99} = 0{,}58$$

Sehingga,

Pv = 0,58 x 113,99 = 65,67 kPa

Tdp = T_{sat} $65{,}67$ kPa = 87,86 °C

b. *Dew point* untuk $\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s

Diketahui,

T_1 = 103,226 °C (dengan tekanan jenuh air sebesar 113,99 kPa)

T_2 = 88,15 °C (dengan tekanan jenuh air sebesar 65,63 kPa)

P = 101,325 kPa

h_{g1} = 2680,63 kJ/kg

h_{f2} = 369,26 kJ/kg

h_{fg2} = 2287,24 kJ/kg

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

Tdp = $T_{sat@Pv}$

Pv = $\phi_{Pg@103,226}$ °C

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

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

$$\omega_2 = \frac{0{,}622 \, P_{g2}}{P - P_{g2}} = \frac{0{,}622 \text{ x } 65{,}63}{101{,}325 - 65{,}63} = 1{,}14 \quad \text{kg } H_2O\text{/kg dry air}$$

$$\omega_1 = \frac{1{,}8723 \text{ x } (88{,}15 - 103{,}226) + 1{,}14 \text{ x } 2287{,}24}{2680{,}63 - 369{,}26} = 1{,}12 \text{ kg } H_2O\text{/kg dry air}$$

$$\phi = \frac{1{,}12 \text{ x } 101{,}325}{(0{,}622 + 1{,}12)113{,}226} = 0{,}57$$

Sehingga,

Pv = 0,57 x 113,99 = 64,97 kPa

Tdp = $T_{sat\ 64,97\ kPa}$ = 87,57 °C

c. *Dew point* untuk $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s

Diketahui,

T_1 = 103,226 °C (dengan tekanan jenuh air sebesar 113,99 kPa)

T_2 = 87,67 °C (dengan tekanan jenuh air sebesar 64,44 kPa)

P = 101,325 kPa

h_{g1} = 2680,63 kJ/kg

h_{f2} = 367,24 kJ/kg

h_{fg2} = 2288,46 kJ/kg

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

Tdp = $T_{sat@Pv}$

Pv = ϕPg@103,226 °C

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

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

$$\omega_2 = \frac{0{,}622 \, P_{g2}}{P - P_{g2}} = \frac{0{,}622 \text{ x } 64{,}44}{101{,}325 - 64{,}44} = 1{,}09 \quad \text{kg } H_2O\text{/kg dry air}$$

$$\omega_1 = \frac{1{,}8723 \text{ x } (87{,}67 - 103{,}226) + 1{,}09 \text{ x } 2288{,}46}{2680{,}63 - 367{,}24} = 1{,}07 \text{ kg } H_2O\text{/kg dry air}$$

$$\phi = \frac{1{,}07 \text{ x } 101{,}325}{(0{,}622 + 1{,}07)113.99} = 0{,}56$$

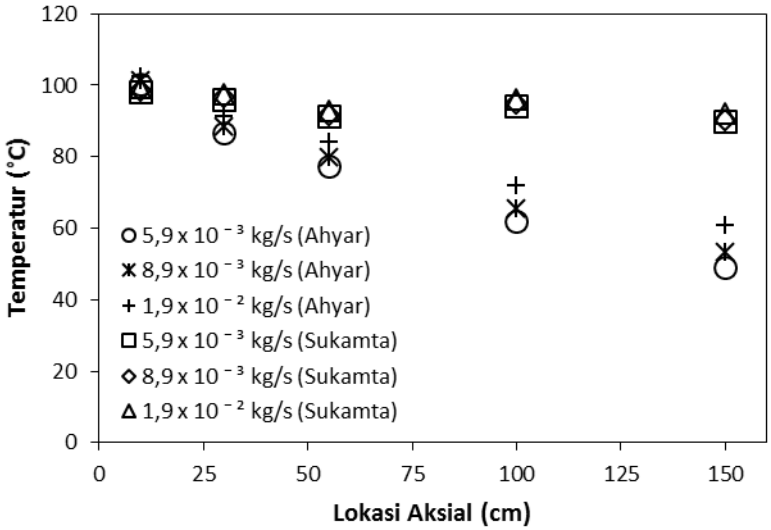
Sehingga,

Pv = 0,56 x 113,99 = 63,83 kPa

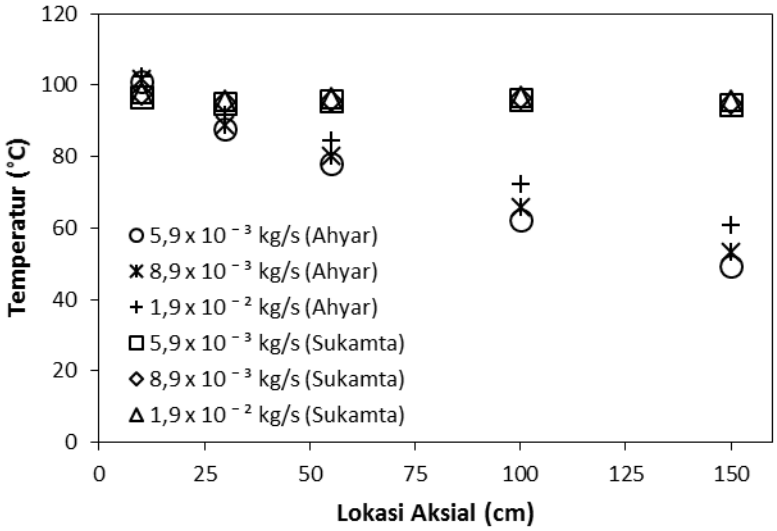
Tdp = $T_{sat\ 63,83\ kPa}$ = 87,10 °C

Berdasarkan nilai *dew point* di atas, menunjukkan bahwa fenomena kondensasi di dalam pipa terjadi pada titik awal dekat sisi inlet. Untuk variasi $\dot{m}_{st}$ = 5,9 x 10^{-3} kg/s terjadi diantara titik 10 dan 30 cm dari sisi inlet, sedangkan untuk variasi $\dot{m}_{st}$ = 8,9 x 10^{-3} kg/s dan $\dot{m}_{st}$ = 1,9 x 10^{-2} kg/s terjadi diantara titik 30 dan 55 cm dari inlet. Fenomena kondensasi tersebut mempengaruhi pola aliran di dalam pipa. Akibatnya terjadi ketidakstabilan aliran fluida di dalam sistem sehingga pola aliran cenderung bergelombang.

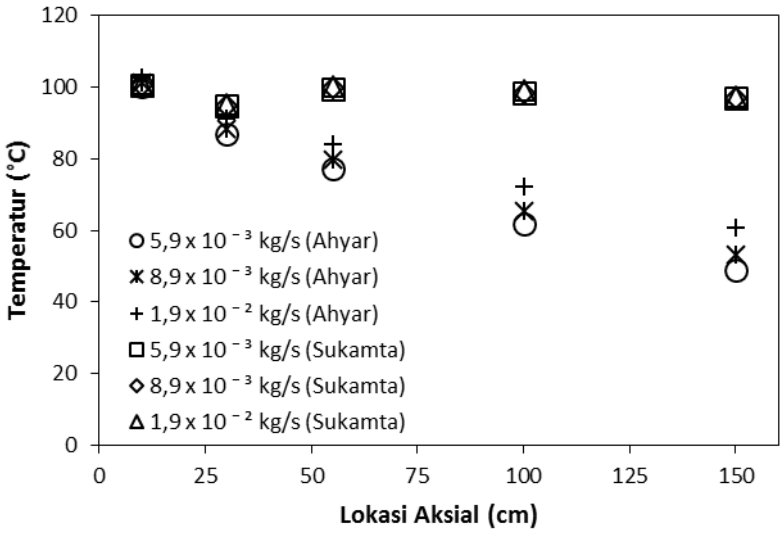
Hasil penelitian berbasis *modeling* ini memiliki kecenderungan yang berbeda dibanding dengan penelitian berbasis eksperimental untuk kasus yang sama yang dilakukan oleh Sukamta dkk (2015). Hasil penelitian berbasis eksperimental menunjukkan bahwa penurunan temperatur yang terjadi di dalam sistem cenderung sangat kecil. Sehingga temperatur pada sisi pipa mendekati outlet cenderung masih relatif tinggi yang menunjukkan fasa uap air masih mendominasi aliran. Perbandingan hasil penelitian berbasis eksperimental dan *modeling* secara statistik ditunjukkan pada Gambar 4.19, 4.20, dan 4.21.



Gambar 4.19. Grafik profil temperatur pada posisi atas di dalam pipa konsentrik



Gambar 4.20. Grafik profil temperatur pada posisi samping di dalam pipa konsentrik



Gambar 4.21. Grafik profil temperatur pada posisi bawah di dalam pipa konsentrik

Hasil penelitian berbasis *modeling* adalah hasil ideal yang memungkinkan untuk terjadi. Hasil tersebut dapat dijadikan acuan untuk menganalisis kondisi suatu sistem perpindahan kalor. Hasil penelitian berbasis eksperimental menunjukkan keadaan uap air di dalam pipa yang masih cenderung bertemperatur tinggi. Hal ini dikarenakan proses perpindahan kalor yang terjadi kurang maksimal. Sehingga perlu adanya evaluasi pada kondisi yang mempengaruhi sistem seperti faktor lingkungan, kondisi batas sistem, dan sebagainya.