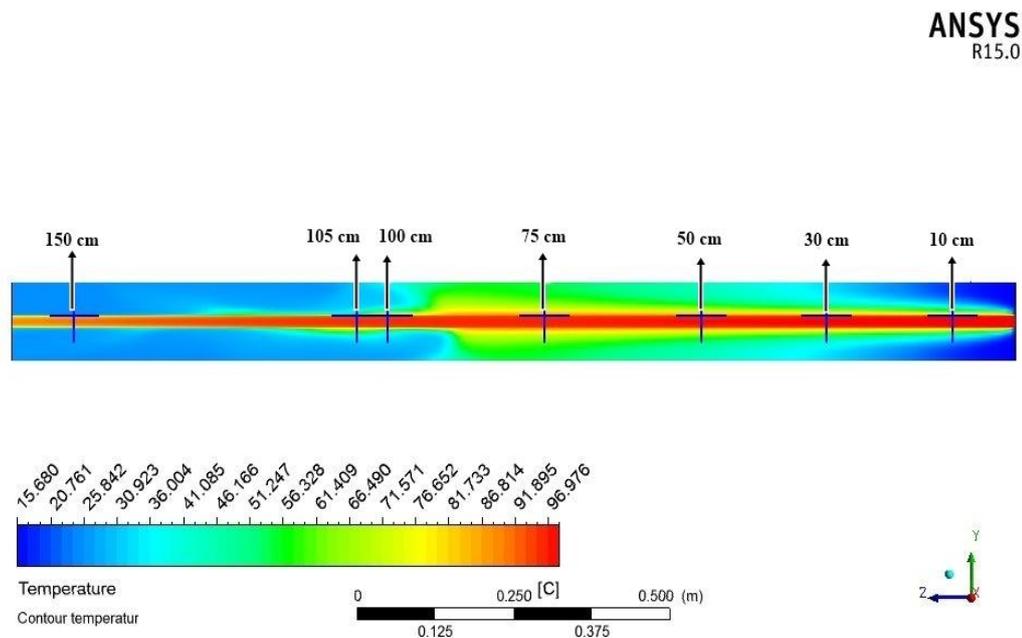


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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.

4.1. Hasil Penelitian

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



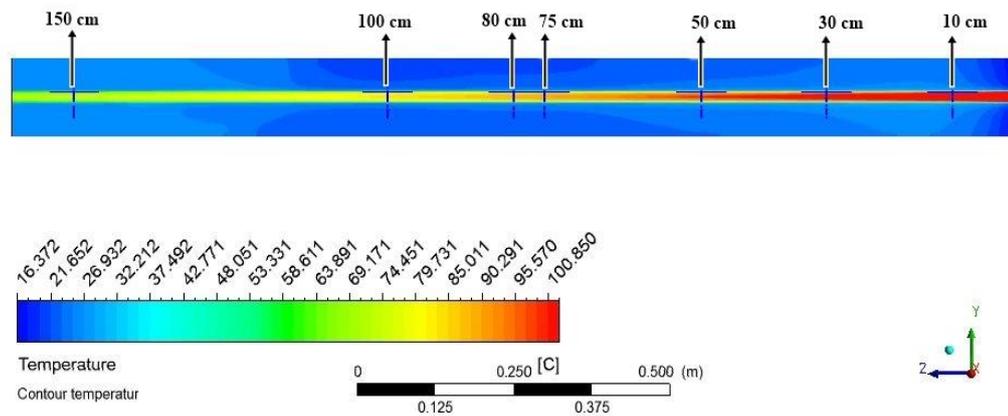
Gambar 4.1. Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ($P_{st,i} = 108825 \text{ Pa}$,
 $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$)

Gambar 4.1 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 ($\dot{m}_{\text{co},i} = 1,4 \times 10^{-3}\text{ Kg/s}$) dari sisi inlet

ANSYS
R15.0

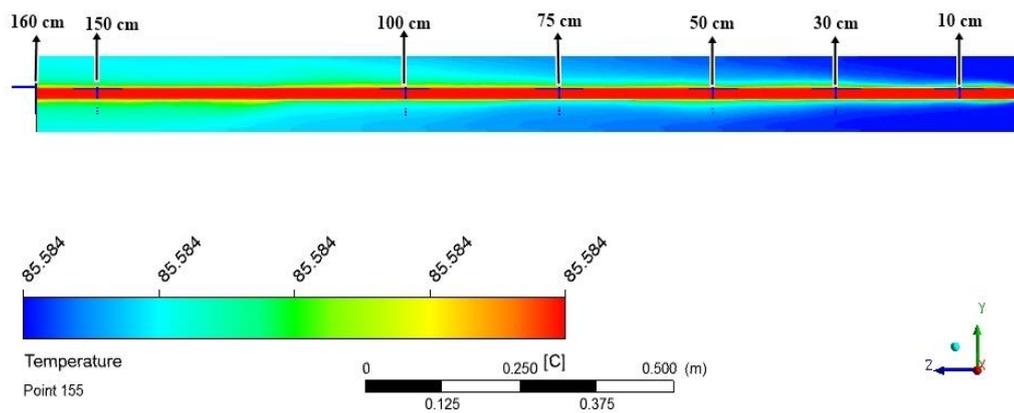


Gambar 4.2. Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ($P_{\text{st},i} = 108825\text{ Pa}$,
 $\dot{m}_{\text{co},i} = 1,4 \times 10^{-3}\text{ kg/s}$)

Gambar 4.2 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

ANSYS
R15.0

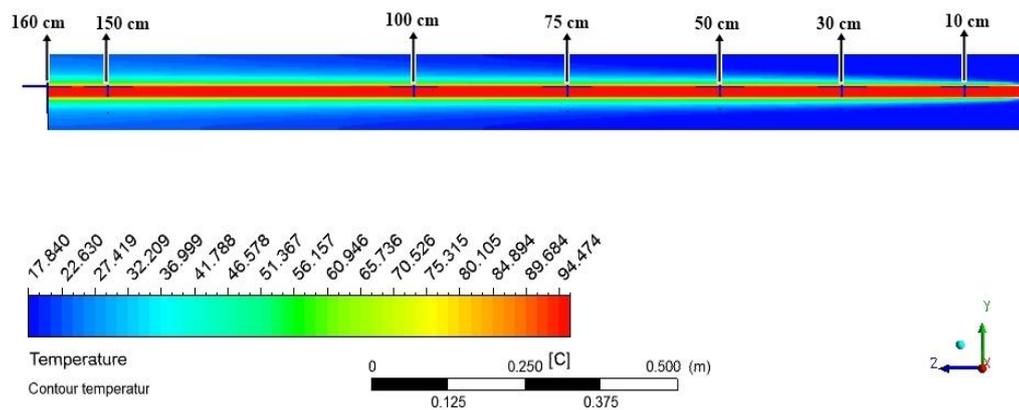


Gambar 4.3. Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ($P_{sti} = 108825 \text{ Pa}$,
 $\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$)

Gambar 4.3 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

ANSYS
R15.0

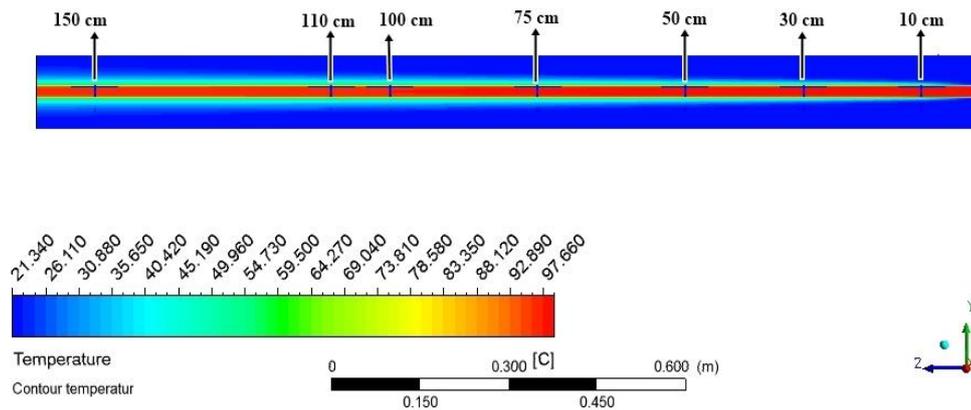


Gambar 4.4. Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ($P_{sti} = 108825 \text{ Pa}$,
 $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$)

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* $68,34^\circ\text{C}$.

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

ANSYS
R15.0

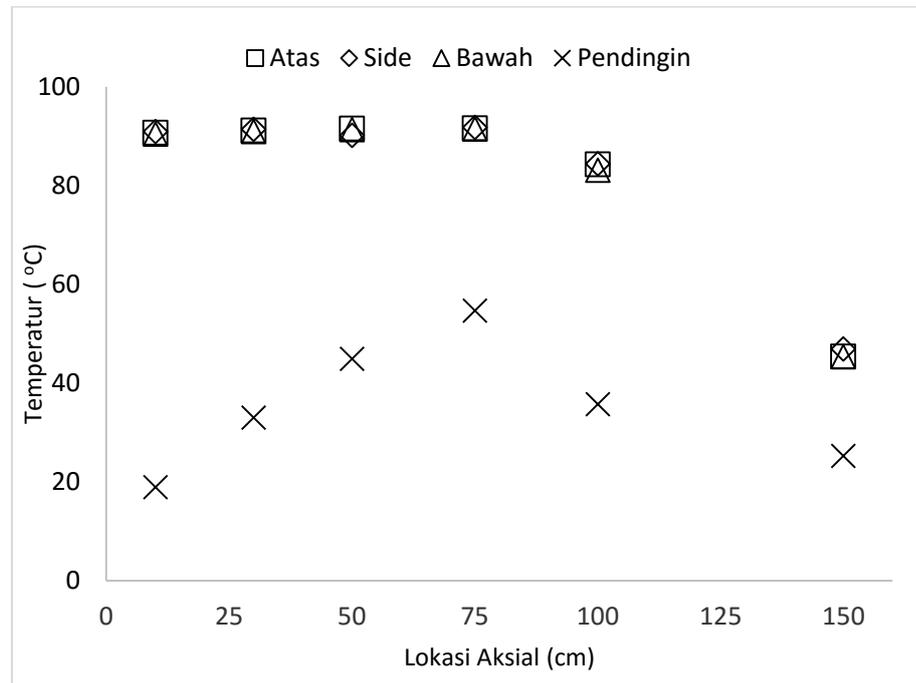


Gambar 4.5. Profil Temperatur Pada Posisi Aksial Variasi ($P_{sti} = 108825 \text{ Pa}$,
 $\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$)

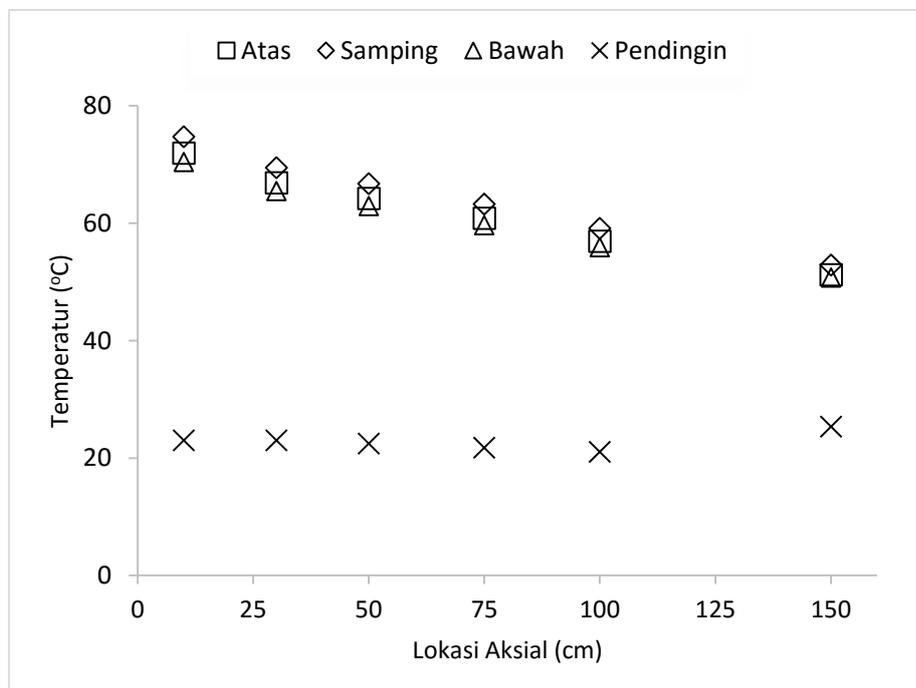
Gambar 4.5 menunjukkan pola aliran temperatur pada pipa konsentrik horisontal di posisi aksial. Pada sisi aksial terdapat perbedaan warna akibat pola aliran temperatur uap air panas. Penurunan temperatur uap air panas pada posisi atas, bawah, dan samping di titik 10 cm sampai dengan 75 cm pola aliran 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.

4.2. Pembahasan

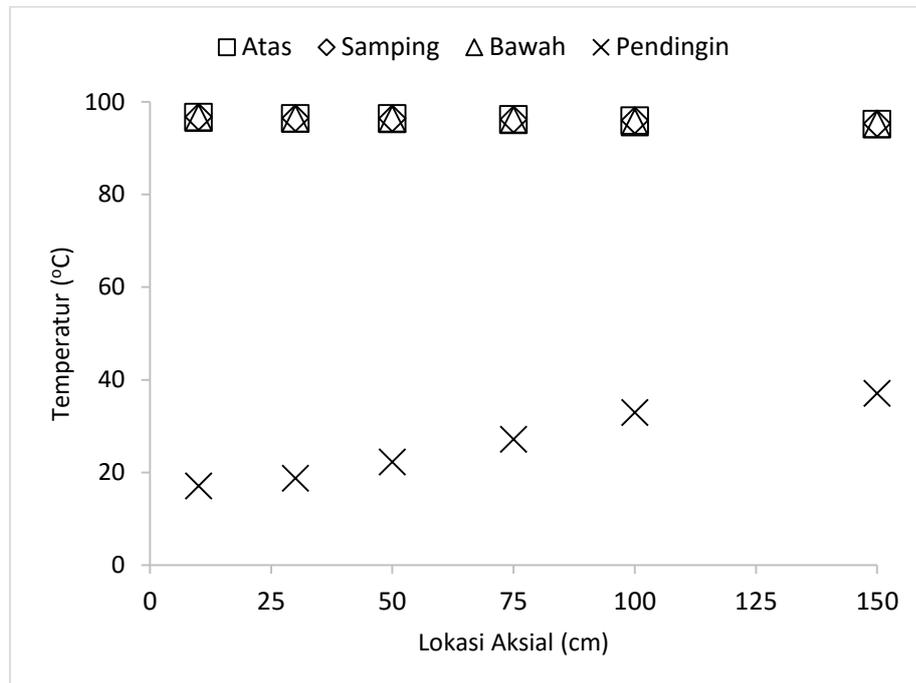
Data temperatur dari hasil simulasi akan ditunjukkan pada gambar 4.6 sampai 4.10. Data diambil berdasarkan lokasi atas, samping dan bawah dari uap air panas.



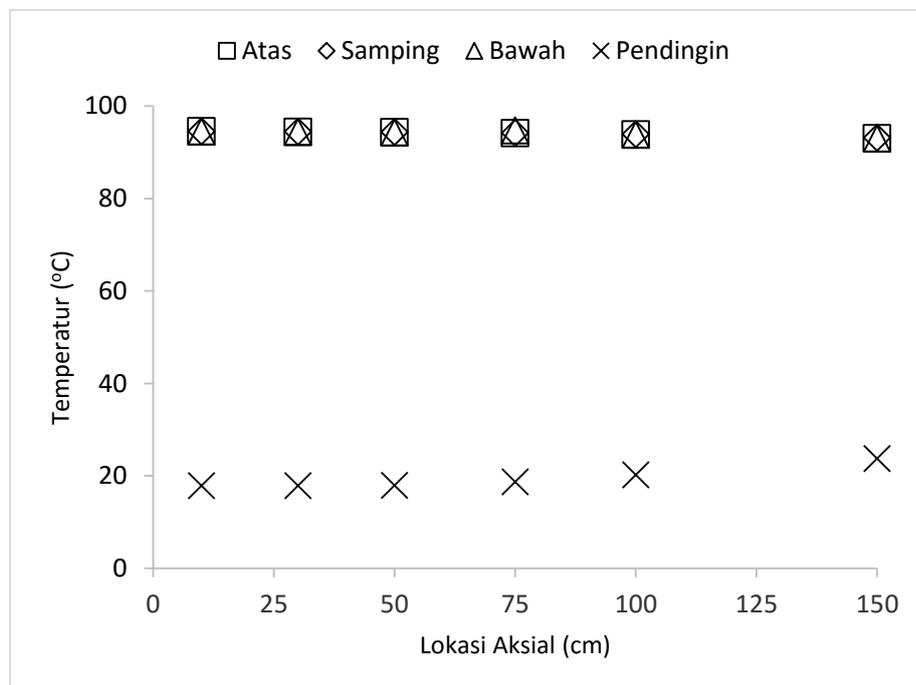
Gambar 4.6. Grafik Temperatur Pada Posisi Aksial ($\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$)



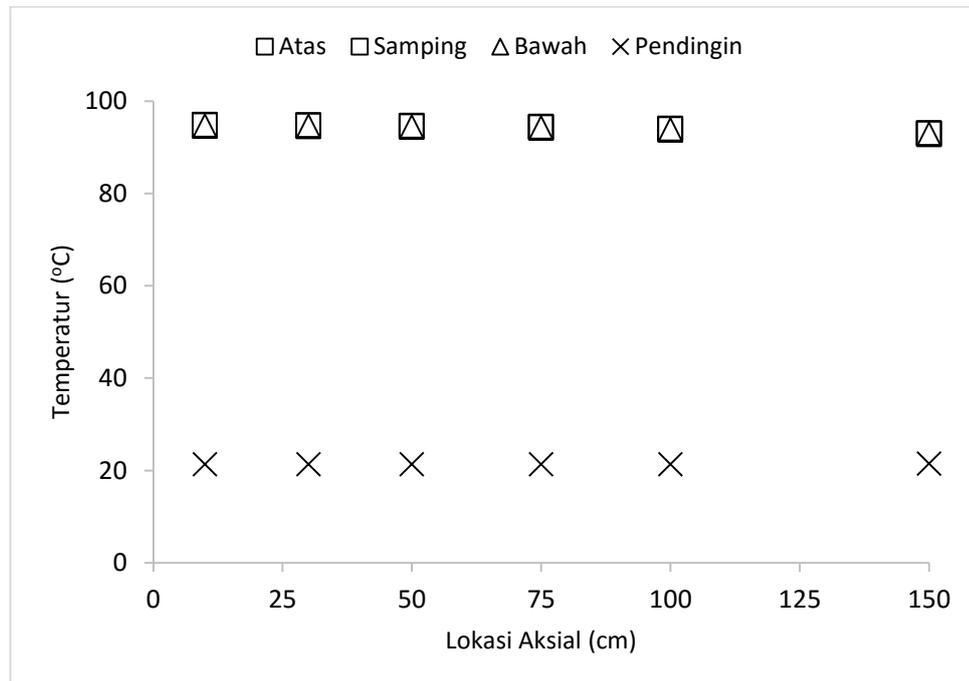
Gambar 4.7. Grafik Temperatur Pada Posisi Aksial ($\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$)



Gambar 4.8. Grafik Temperatur Pada Posisi Aksial ($\dot{m}_{co,i} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$)



Gambar 4.9. Grafik Temperatur Pada Posisi Aksial ($\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$)



Gambar 4.10. Grafik Temperature Pada Posisi Aksial ($\dot{m}_{co,i} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$)

Gambar 4.6 sampai Gambar 4.10 menggambarkan pola aliran temperatur pada sisi aksial pipa anulus horisontal. Gambar 4.6 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 ke bawah secara tajam. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi kondensasi pada titik ini. Diperkirakan pada variasi $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ ini telah terjadi pola aliran *wavy*. Pada *dew point* $80,12 \text{ }^\circ\text{C}$ terjadi diantara titik 100 cm dan 150 cm.

Gambar 4.7 pada variasi $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ 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 $\dot{m}_{co,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ sudah terjadi pola aliran *wavy*. Pada *dew point* $57,02 \text{ }^\circ\text{C}$.

Berdasarkan Gambar 4.8 dan 4.9 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 sedangkan terjadi kondensasi setelah titik 150 cm dari inlet. Sedangkan pada gambar 4.10 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.

Kekurangan pada penelitian ini adalah hasil dari simulasi hanya menunjukkan profil temperatur berdasarkan warna, sehingga fenomena kondensasi pada aliran uap yang memungkinkan terjadi didalam sistem 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,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 49,74}{101,325 - 49,74} = 0,59 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (81,113 - 97,721) + 0,59 \times 2305,1}{2671,8 - 339,69} = 0,56 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

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

Sehingga,

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

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

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

Diketahui,

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

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

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

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

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

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

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

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

$$P_v = \phi P_{g@97,721 \text{ }^\circ\text{C}}$$

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

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

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 22,26}{101,325 - 22,26} = 0,17 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (62,276 - 103,94) + 0,17 \times 2352,10}{2681,7 - 260,71} = 0,13 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

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

Sehingga,

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

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

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

Diketahui,

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

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

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

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

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

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

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

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

$$P_v = \phi P_{g@98,548 \text{ }^\circ\text{C}}$$

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

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

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 50,5}{101,325 - 50,5} = 0,61 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (81,476 - 98,548) + 0,61 \times 2304,2}{2673,2 - 341,21} = 0,58 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

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

Sehingga,

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

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

d. *Dew point* untuk $\dot{m}_{co,i} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$

Diketahui,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 82,29}{101,325 - 82,29} = 2,68 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (94,198 - 96,07) + 2,68 \times 2276,6}{2669,3 - 394,71} = 0,26 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

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

Sehingga,

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

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

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

Diketahui,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{0,622 \times 80,84}{101,325 - 80,84} = 2,45 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

$$\omega_1 = \frac{1,8723 \times (93,697 - 99252) + 2,45 \times 2272,9}{2674,4 - 392,6} = 2,43 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

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

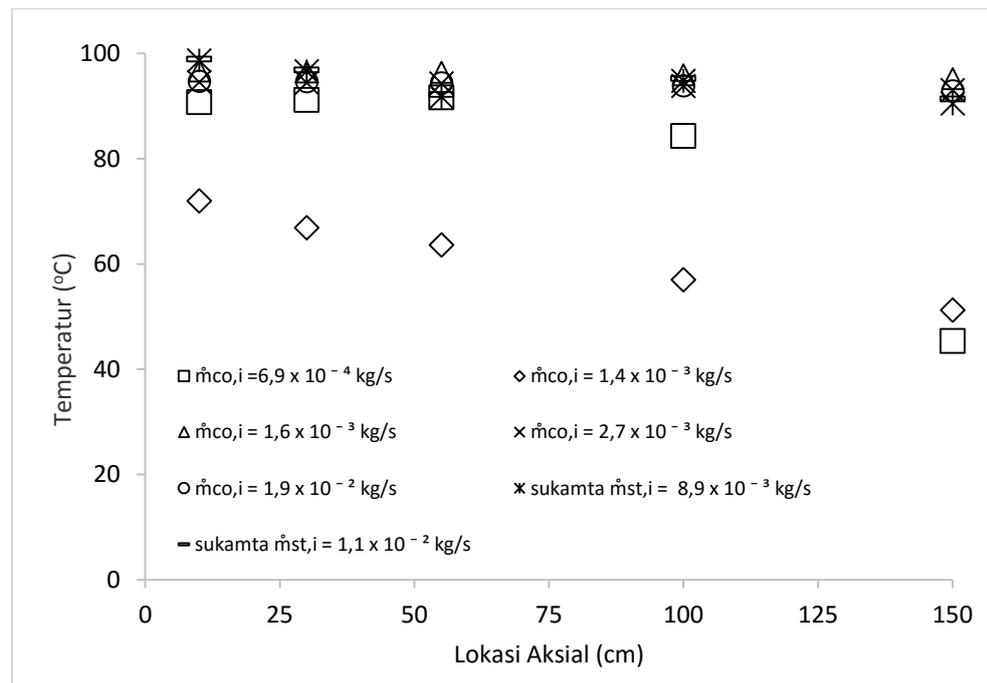
Sehingga,

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

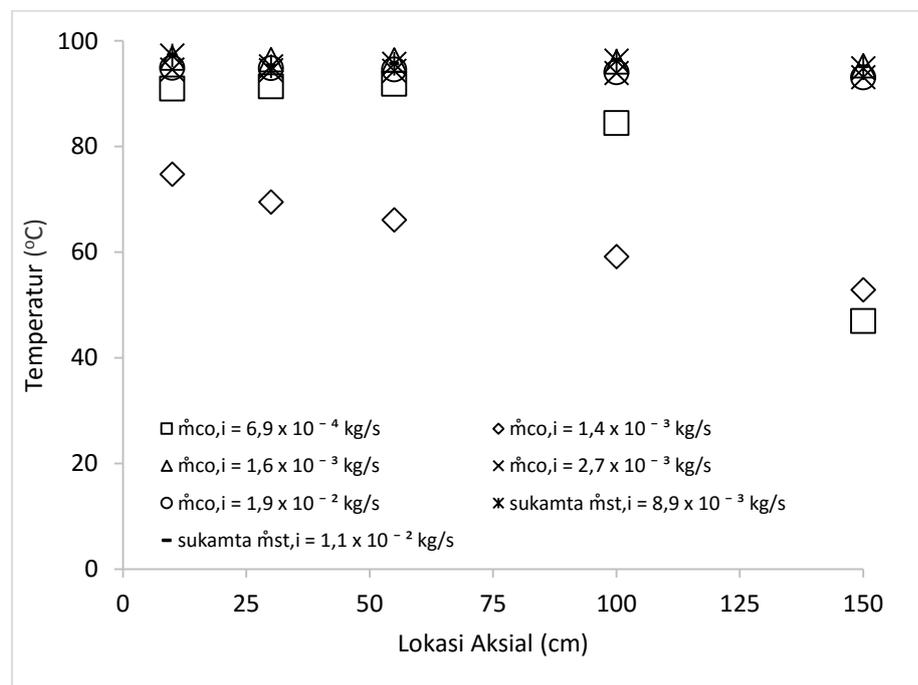
$$T_{dp} = T_{\text{sat } 80,109 \text{ kPa}} = 93,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

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:

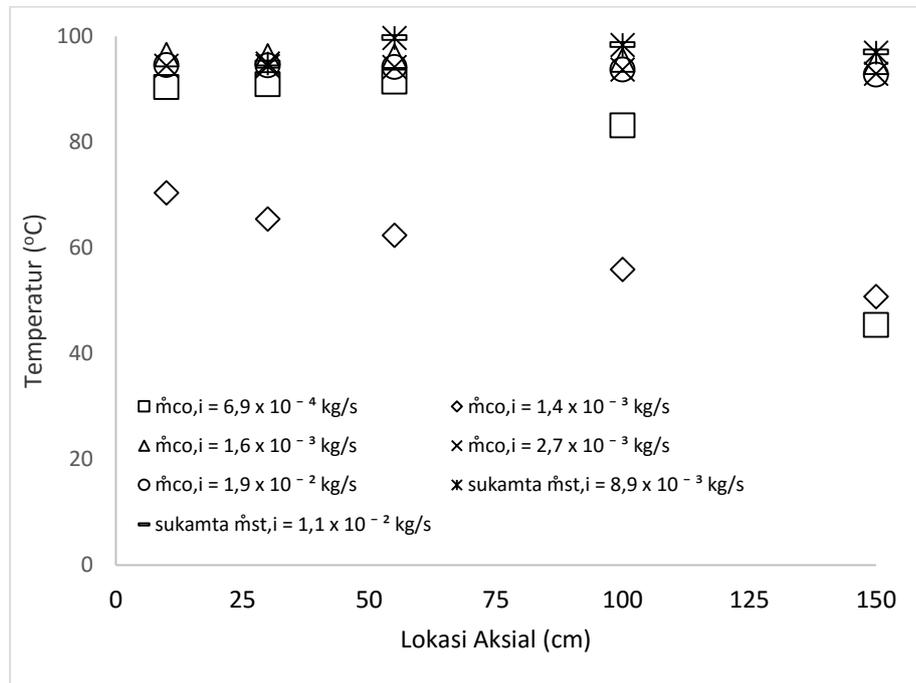
- a. Grafik hasil perbandingan percobaan eksperimental 11 dan 12 pada variasi $\dot{m}_{st,i} = 8,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ dan $\dot{m}_{st,i} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$



Gambar 4.11. Grafik profil temperatur pada posisi atas di dalam pipa aksial



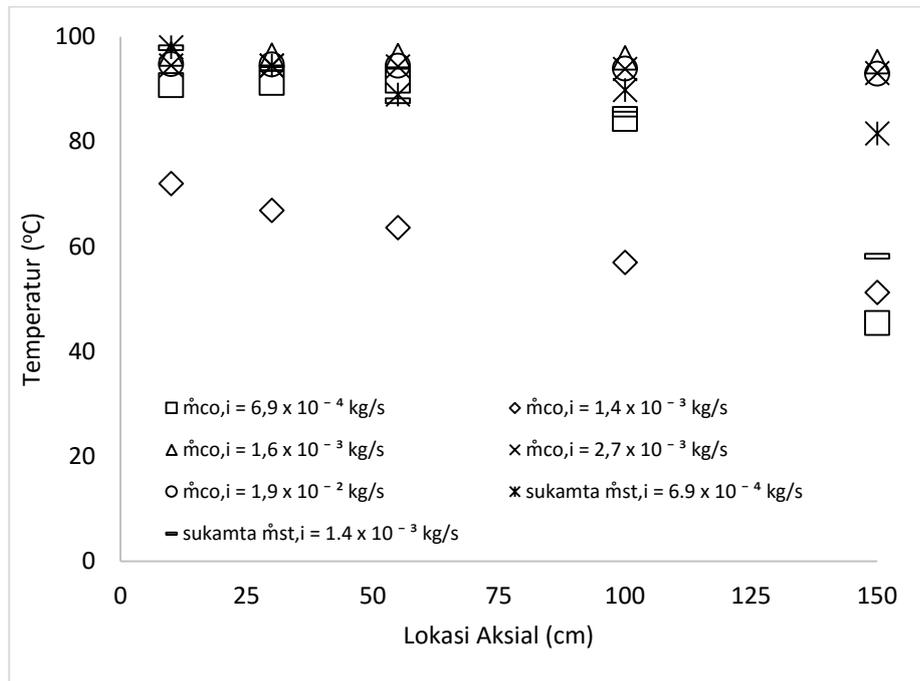
Gambar 4.12. Grafik profil temperatur pada posisi samping di dalam pipa aksial



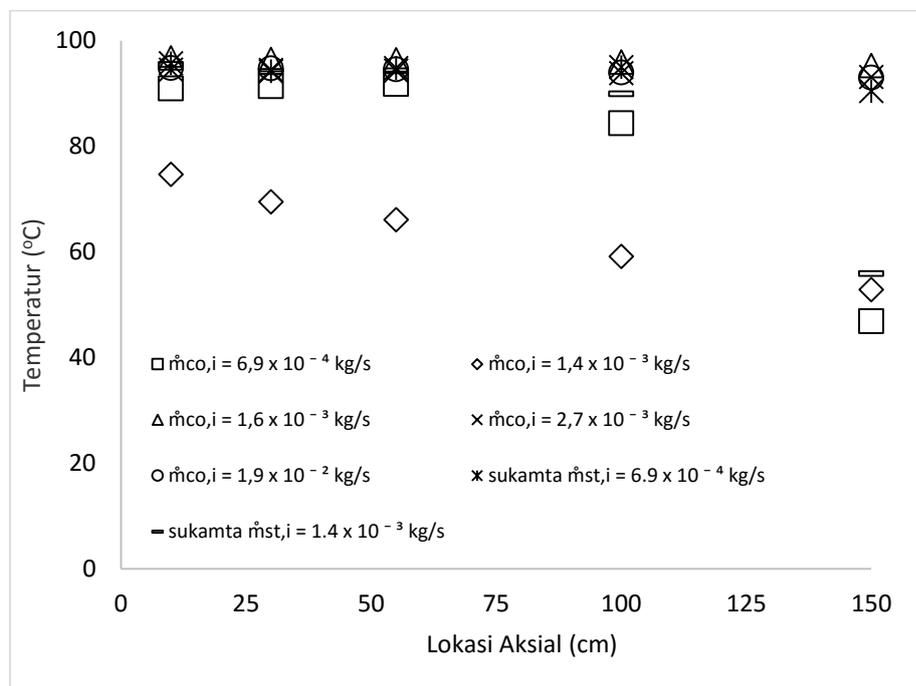
Gambar 4.13. Grafik profil temperatur pada posisi bawah di dalam pipa aksial

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.

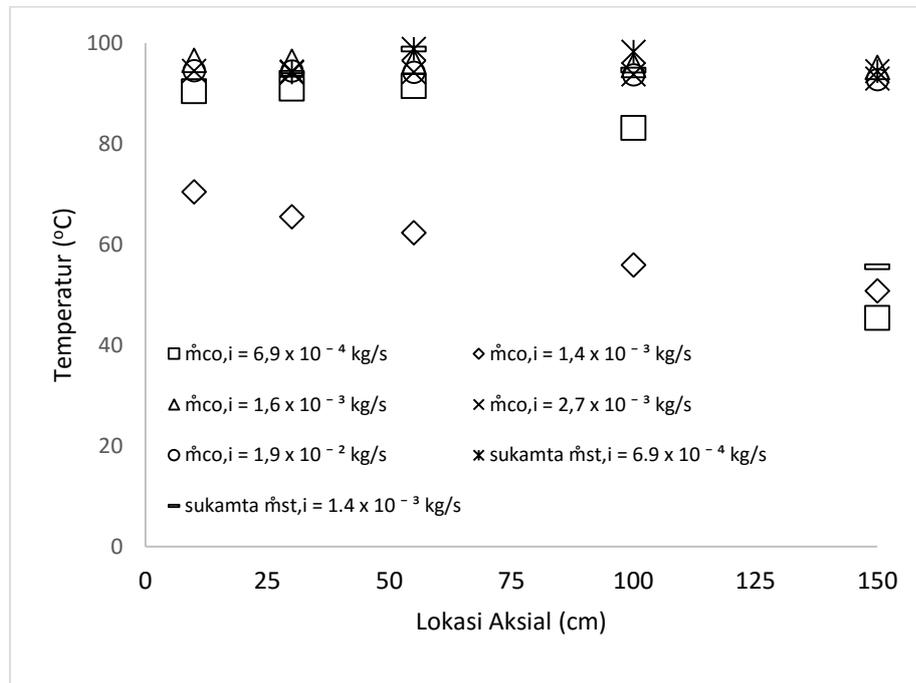
- b. Grafik hasil perbandingan percobaan eksperimental 6 dan 7 pada variasi $\dot{m}_{st,i} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ dan $\dot{m}_{st,i} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$



Gambar 4.14. Grafik profil temperatur pada posisi atas di dalam pipa aksial



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



Gambar 4.16. 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 $\dot{m}_{st,i} = 6,9 \times 10^{-4}$ kg/s dan $\dot{m}_{st,i} = 1,4 \times 10^{-3}$ 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 $\dot{m}_{st,i} = 1,4 \times 10^{-3}$ kg/s temperatur pada titik 150 cm suhu besarnya 50 °C pada posisi atas, bawah dan samping dari sisi inlet. Sedangkan hasil dari simulasi pada variasi yang sama temperaturnya sebesar 40 °C. Pada variasi $\dot{m}_{co,i} = 6,9 \times 10^{-4}$ kg/s di titik yang sama. Hasil yang berbeda diperlihatkan oleh eksperimental pada variasi $\dot{m}_{st,i} = 6,9 \times 10^{-4}$ kg/s dengan hasil temperatur lebih besar dari hasil simulasi pada variasi yang sama.