

# Rancang Bangun Alat Praktikum Perpindahan Panas Konveksi Paksa pada *Pin Fin* Berpenampang Sirkular Susunan *Staggered*

Alik Dinikavanila dan Budi Utomo Kuku Widodo  
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) 60111 Indonesia  
e-mail: buditem@me.its.ac.id

**Abstrak**—*Fin* digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas dengan menambah luasan atau area perpindahan panas yang disebut *extended surface*. Salah satu media untuk mendemonstrasikan perpindahan panas pada *fin* adalah alat praktikum yang juga dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh diameter *fin* dan kecepatan udara terhadap perpindahan panas konveksi serta distribusi temperatur di sepanjang *fin*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *circular pin fin* dengan diameter 10 mm dan 16 mm serta panjang 70 mm. *Pin fin* diletakkan dalam *rectangular duct* dan disusun secara *staggered* dengan  $S_T = 20$  mm,  $S_L = 20$  mm, dan  $S_D = 23$  mm. *Electric plate heater* diletakkan pada *base plate* sebagai sumber panas dan dikontrol pada  $T = 50^\circ\text{C}$ . Kecepatan udara divariasikan dengan menggunakan variasi *air inlet* pada *centrifugal blower*. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel dan akuisisi data yang terintegrasi pada komputer. Hasil penelitian menunjukkan distribusi temperatur menurun di sepanjang *fin*. Pada kecepatan yang sama, *fin* 10 mm mempunyai koefisien konveksi yang lebih besar daripada *fin* 16 mm.

**Kata Kunci**—*Circular Pin Fin*, *Extended Surface*, Konveksi Paksa, Koefisien Konveksi, Susunan *Staggered*.

## I. PENDAHULUAN

**E***xtended surface* berfungsi meningkatkan perpindahan panas dengan cara menambah luasan atau area perpindahan panas. Perpindahan panas dipengaruhi oleh bentuk geometri, kondisi aliran, dan *properties* fluida. Kenaikan kecepatan udara menyebabkan peningkatan *Nusselt number* dan koefisien perpindahan panas konveksi. Oleh karena itu, laju perpindahan panas *fin* semakin besar dengan naiknya kecepatan udara. Selain itu, peningkatan kecepatan udara menyebabkan tekanan udara yang melalui *pin fin* naik secara signifikan [1].

Pemanfaatan *fin* menjadi lebih maksimal apabila material dari *fin* mempunyai konduktivitas termal yang baik. Pada rentang nilai *Reynolds number* yang sama, laju perpindahan panas terbesar dicapai oleh *copper*, kemudian *brass*, aluminium, dan *steel*. *Nusselt number* meningkat dengan kenaikan *Reynolds number*, sehingga koefisien dan laju perpindahan panas juga meningkat [2].

Susunan *pin fin* memengaruhi besar perpindahan panas. Kenaikan *mass flow rate*,  $S_x$ , dan  $S_y$  dapat memperbaiki perpindahan panas. Peningkatan *Nusselt number* terjadi pada  $S_y$  dan  $S_x$  tertentu. Susunan *staggered* menghasilkan peningkatan perpindahan panas yang lebih baik daripada susunan *aligned*. Namun penurunan tekanan pada susunan *staggered* lebih besar daripada susunan *aligned*. Selain itu, bentuk *fin* yang memiliki *Nusselt number* yang paling tinggi adalah bentuk *diamond*, kemudian *square*, dan *cylinder*.

*Friction factor* yang terjadi pada susunan *staggered* lebih besar daripada susunan *aligned* [3].

Penelitian ini akan membahas perancangan alat praktikum perpindahan panas konveksi paksa melalui berkas *pin fin* berpenampang *sirkular* dan pengaruh variasi diameter serta kecepatan fluida terhadap perpindahan panas konveksi paksa yang terjadi.

## II. URAIAN PENELITIAN

Perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan berdasarkan aliran fluida, yaitu konveksi alami dan konveksi paksa. Konveksi alami terjadi ketika aliran fluida bergerak akibat *bouyancy force* atau efek gaya apung, sedangkan konveksi paksa terjadi karena aliran fluida digerakkan oleh daya eksternal seperti kipas, pompa, atau angin. Besar perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan *Newton's law of cooling* berikut ini,

$$q = \bar{h} \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Koefisien konveksi ( $\bar{h}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan korelasi *Nusselt number*. *Nusselt number* merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan *temperature gradient* di sepanjang permukaan. Hubungan antara *Nusselt number* dan koefisien perpindahan panas konveksi secara paksa pada aliran eksternal dapat dilihat dari Persamaan 2.

$$Nu = \frac{\bar{h}D}{k_f} = f(\text{Re}, \text{Pr}) = C \text{Re}^m \text{Pr}^n \quad (2)$$

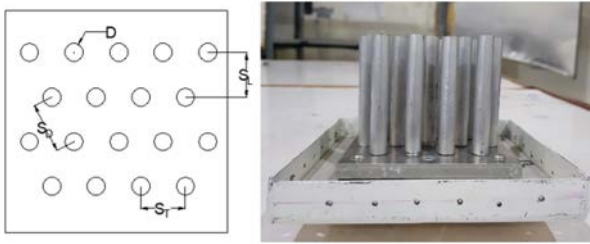
Konstanta  $C$ ,  $m$ , dan  $n$  besarnya ditentukan oleh geometri permukaan dan jenis aliran fluida. Nilai  $n$  untuk geometri permukaan silinder adalah 1/3 [4].

Perpindahan panas konveksi paksa khususnya yang terjadi pada sirip banyak diaplikasikan pada dunia industri seperti *heat exchanger*, sistem pendinginan ruangan, dan pada dunia elektronik yaitu *heat sink*. Pada penelitian ini digunakan bentuk sirip sirkular, yang disusun secara *staggered*. Peralatan yang dirancang bangun ini tersusun atas *circular pin fin*, *rectangular duct*, sistem pemanas, *honeycomb* dan difuser, *centrifugal blower*, *hot wire anemometer*, *digital thermocontrol*, dan sistem akuisisi data.

### A. *Circular pin fin*

*Pin fin* yang digunakan berpenampang sirkular dengan variasi dimensi 10 mm dan 16 mm serta panjang *fin* sebesar 70 mm. *Circular pin fin* akan disusun dengan susunan selang-seling (*staggered*) dan diuji dalam *rectangular duct*. Jarak spasi pada susunan yaitu  $S_T = 20$  mm,  $S_L = 20$  mm, dan  $S_D = 23$  mm. *Fin* terbuat dari *aluminium alloy* seperti pada Gambar

1. Pengujian dilakukan pada *vertical rectangular duct* dengan dimensi panjang 159 mm, lebar 90 mm, dan tinggi 716 mm. *Fin* diletakkan pada *base plate* berdimensi 100 mm x 100 mm dan dipasangkan pada *rectangular duct* yang berjarak 350 mm dari atas.



Gambar 1. Skema *pin fin* susunan *staggered*

**B. Rectangular duct**

*Rectangular duct* merupakan *wind tunnel* yang berfungsi sebagai ruang uji. *Circular pin fin* diletakkan di dalam *rectangular duct* dan dialiri udara dari *centrifugal blower*. *Rectangular duct* diposisikan secara vertikal. Bahan yang digunakan untuk membuat *rectangular duct* adalah *steel* dan *acrylic* untuk sisi depan. Dimensi yang dimiliki *rectangular duct* yaitu, panjang 159 mm, lebar 90 mm, dan tinggi 716 mm.

**C. Sistem pemanas**

Berkas *fin* dipanasi dengan *constant heat flux*, yaitu dengan pemanasan *plate heater* secara konstan pada temperatur 50°C. Jenis *heater* yang digunakan pada penelitian ini adalah *plate heater*. *Plate heater* diletakkan di bawah *base plate* dengan dimensi 100 mm x 100 mm. Gambar 2 merupakan *plate heater* yang digunakan dalam penelitian. Material *plate heater* adalah *stainless steel*, dengan voltase 220 V dan *power* sebesar 150W.



Gambar 2. *Plate heater*

**D. Honeycomb dan difuser**

*Flow straightener* merupakan pelurus aliran yang sering digunakan di dalam *wind tunnel*. Pelurus aliran ini sering disebut *honeycomb* yang dipasang sejajar dalam arah aliran. *Honeycomb* yang digunakan memiliki panjang 19 mm dan diameter 3 mm. Difuser digunakan untuk menghubungkan aliran udara dari *centrifugal blower* menuju *rectangular duct*. Difuser yang digunakan berdimensi 80 mm x 80 mm dan 100 mm x 160 mm dengan tinggi 97 mm.

**E. Centrifugal Blower**

*Centrifugal blower* digunakan untuk mengalirkan udara ke dalam *rectangular duct*. Kecepatan udara divariasikan dengan cara mengubah luasan *air inlet* pada *centrifugal blower*. Kecepatan udara diukur dengan menggunakan *hot wire anemometer*, sehingga didapatkan kecepatan udara rata-rata sebesar 2.64 m/s; 3.65 m/s; 3.95 m/s; dan 4.2 m/s.

**F. Digital thermocontrol**

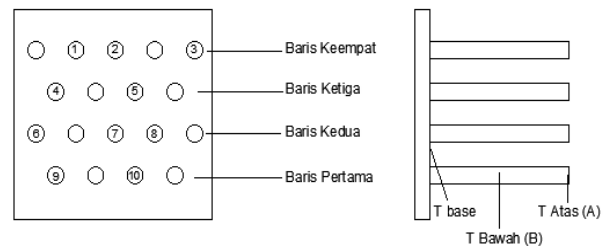
*Digital thermocontrol* digunakan untuk mengendalikan temperatur pengujian. Prinsip kerja termokontrol yaitu ketika

telah mencapai temperatur tertentu, maka elemen pemanas atau *heater* akan mati secara otomatis dan ketika temperatur di bawah temperatur yang ditentukan *heater* akan menyala secara otomatis.

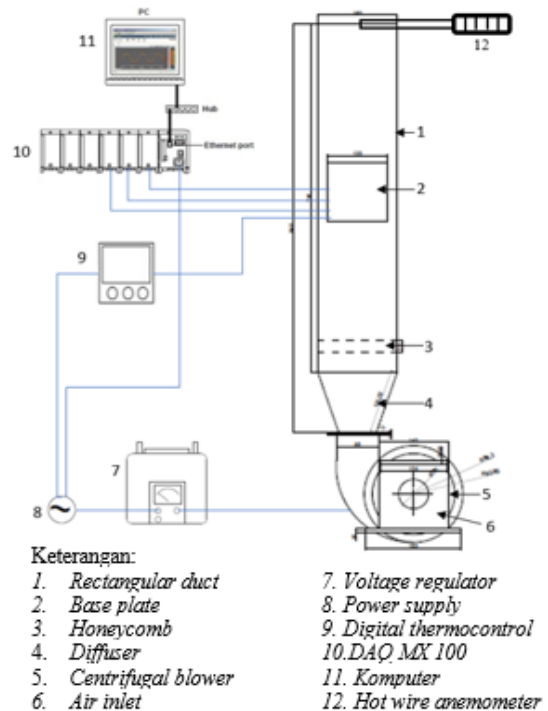
**G. Sistem akuisisi data**

Pengukuran temperatur permukaan *fin* dengan menggunakan perangkat akuisisi data DAQ MX 100 dan termokopel tipe K sebagai sensor temperatur. DAQ MX 100 adalah perangkat akuisisi data yang dilengkapi oleh *software* yang terdiri dari *integration monitor*, *viewer*, dan *calibrator*. *Integration monitor* menampilkan hasil pengukuran dalam setiap *channel*, pengaturan komputasi pengukuran, dan menyimpan data pengukuran. Hasil pengukuran yang telah disimpan dapat ditampilkan, dibaca, dan disajikan dalam bentuk *statistical computation*. Penyimpanan hasil pengukuran dapat berupa *file* seperti Excel. Hal ini dapat dilakukan pada bagian *viewer*, sedangkan *calibrator* digunakan untuk *input module* dan *output module* MX 100. *Input sensor* yang dapat digunakan pada DAQ MX 100 bermacam-macam yaitu tegangan (DC Voltage), TC (*Thermocouple*), RTD (*Resistance Temperature Detector*), RTDEX (*Resistance Temperature Detector*), OHM (*Resistance*), DI (*Digital Input*), dan RRJC (TC).

Pengukuran temperatur dilakukan pada *base plate*, permukaan *fin* pada  $x = 35$  mm dan  $x = 70$  mm, temperatur udara masuk, dan temperatur udara keluar. Pengambilan data dilakukan selama 30 menit. Posisi pengukuran temperatur *fin* dan skema alat uji dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



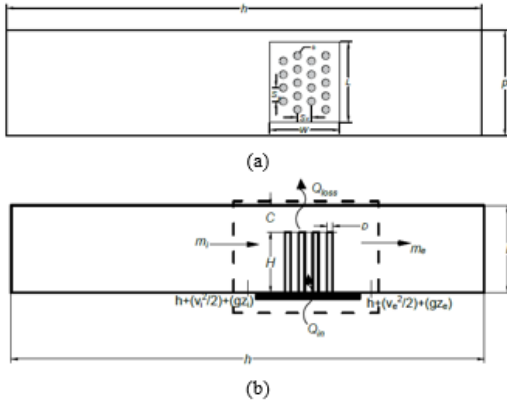
Gambar 3. Baris dan tempat pengukuran temperatur permukaan *fin*.



- Keterangan:**
- 1. *Rectangular duct*
  - 2. *Base plate*
  - 3. *Honeycomb*
  - 4. *Difuser*
  - 5. *Centrifugal blower*
  - 6. *Air inlet*
  - 7. *Voltage regulator*
  - 8. *Power supply*
  - 9. *Digital thermocontrol*
  - 10. *DAQ MX 100*
  - 11. *Komputer*
  - 12. *Hot wire anemometer*

Gambar 4. Skema alat uji

Perhitungan perpindahan panas pada penelitian ini menggunakan kesetimbangan energi dalam kondisi *steady state*. Gambar 5 merupakan *control volume* pada skema alat uji untuk analisis *heat balance*.



Gambar 5. *Control volume* untuk analisis *heat balance* (a) Tampak depan (b) Tampak samping

Dari analisis *heat balance*, perpindahan panas yang terjadi pada *ducting* dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}c_p(T_{out} - T_{in}) \tag{3}$$

dan  $\dot{m}$  dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{m} = \rho A_{ff} V \tag{4}$$

dengan  $\dot{m}$  merupakan *mass flow rate* yang dapat digunakan untuk menghitung *Reynolds number*,

$$Re = \frac{(\dot{m}/A_{ff})D}{\mu} \tag{5}$$

*Free flow area* ( $A_{ff}$ ) merupakan *area* atau luasan yang dilewati oleh aliran udara.  $A_{ff}$  dirumuskan sebagai berikut:

$$A_{ff} = pl - N_x HD \tag{6}$$

dengan  $N_x$  adalah jumlah *fin* arah transversal.

Perpindahan panas konveksi dari permukaan *fin* dan *base plate* dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Q_{CONV} = \bar{h}A_s \left[ T_b - \left( \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) \right] \tag{7}$$

dengan  $T_{in}$  dan  $T_{out}$  merupakan temperatur udara *inlet* dan *outlet*,  $T_b$  adalah temperatur rata-rata *base plate*, dan  $A_s$  adalah luas permukaan total dari *base* dan *fin*.

$$A_s = WL + \pi D H N_{xy} \tag{8}$$

$W$  dan  $L$  merupakan panjang dan lebar *base plate*,  $D$  adalah diameter *fin*,  $H$  adalah panjang *fin*, dan  $N_{xy}$  merupakan jumlah *fin*.

Koefisien perpindahan panas rata-rata dapat dihitung dengan substitusi persamaan 3 dan 7, sehingga diperoleh nilai koefisien rata-rata sebagai berikut [3]:

$$\bar{h} = \frac{\dot{m}c_p(T_{out} - T_{in})}{A_s \left[ T_b - \left( \frac{T_{out} + T_{in}}{2} \right) \right]} \tag{9}$$

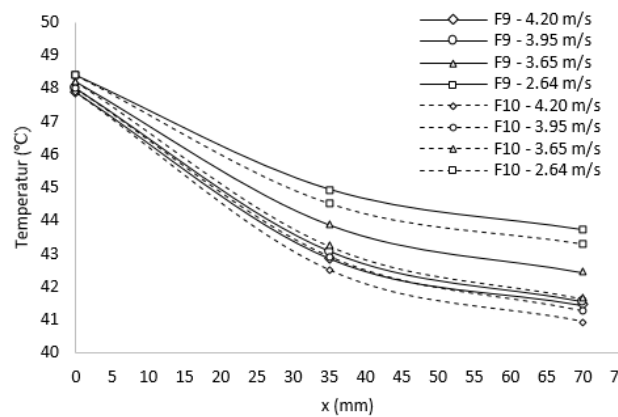
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan untuk mengetahui distribusi temperatur permukaan di sepanjang *fin*, pengaruh diameter *fin*, dan pengaruh kecepatan fluida.

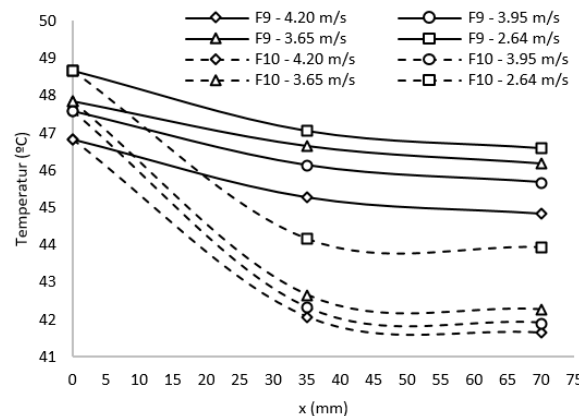
#### A. Distribusi Temperatur

Gambar 5 merupakan grafik distribusi temperatur permukaan *fin* 10 mm pada baris pertama dengan *set point* 50°C. Baris pertama terdiri dari 4 *fin* dengan 2 *fin* terukur yaitu *fin* 9 dan *fin* 10. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa masing-masing *fin* mempunyai *trendline* yang sama. *Trendline* grafik mengalami penurunan temperatur di sepanjang *fin*. Temperatur tertinggi terjadi pada posisi  $x = 0$  mm, kemudian temperatur menurun pada  $x = 35$  mm, dan temperatur terendah pada posisi  $x = 70$  mm. *Fin* 9 mempunyai temperatur yang lebih tinggi daripada *fin* 10 pada setiap variasi kecepatan. Temperatur yang paling tinggi terjadi pada kecepatan fluida 2.64 m/s. Temperatur permukaan *fin* diameter 10 mm pada  $x = 70$  mm sebesar 43.73°C dan *fin* 10 sebesar 43.29°C. Sebaliknya, temperatur terendah terjadi pada kecepatan fluida 4.2 m/s dengan temperatur *fin* 9 sebesar 41.45°C dan *fin* 10 sebesar 40.94°C.

Gambar 6 merupakan grafik distribusi temperatur permukaan *fin* 16 mm pada baris pertama dengan *set point* 50°C. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa masing-masing *fin* mempunyai *trendline* yang sama yaitu menurun di sepanjang *fin*. Temperatur permukaan *fin* 9 pada  $x = 70$  mm sebesar 46.60°C dan *fin* 10 sebesar 43.95°C. Sebaliknya, temperatur terendah terjadi pada kecepatan fluida 4.2 m/s dengan temperatur *fin* 9 sebesar 44.85°C dan *fin* 10 sebesar 41.66°C.



Gambar 5. Grafik distribusi temperatur permukaan sepanjang *fin* 10 mm pada baris pertama.



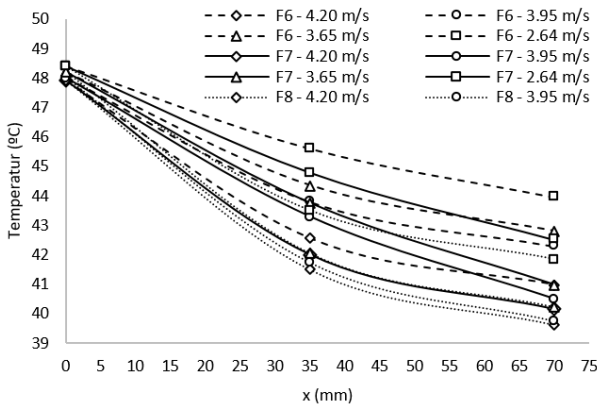
Gambar 6. Grafik distribusi temperatur permukaan sepanjang *fin* 16 mm pada baris pertama.

Gambar 7 merupakan grafik distribusi temperatur permukaan *fin* 10 mm pada baris kedua dengan *set point* 50°C. Baris kedua terdiri dari 5 *fin* dengan 3 *fin* terukur yaitu *fin* 6, 7, dan 8. Ketiga *fin* tersebut mempunyai *trendline* menurun di sepanjang *fin*. Temperatur tertinggi terjadi pada *fin* 6, sedangkan temperatur *fin* 7 lebih tinggi daripada *fin* 8.

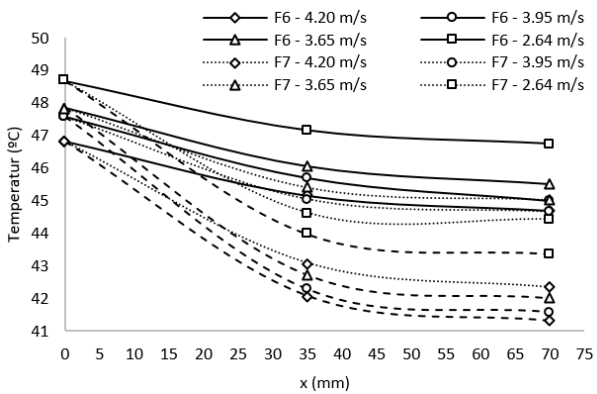
Pada kecepatan fluida 2.64 m/s temperatur *fin* 6, 7, dan 8 secara berturut-turut pada  $x = 70$  mm adalah 43.94°C, 42.51°C, dan 41.84°C.

Gambar 8 merupakan grafik distribusi temperatur permukaan *fin* 16 mm pada baris kedua dengan *set point* 50°C. *Trendline* grafik tersebut menurun di sepanjang *fin*. Temperatur tertinggi terjadi pada *fin* 6, sedangkan temperatur *fin* 7 lebih tinggi daripada *fin* 8. Pada kecepatan fluida 2.64 m/s, temperatur *fin* 6, 7, dan 8 secara berturut-turut pada  $x = 70$  mm adalah 46.75°C, 44.44°C, dan 43.35°C.

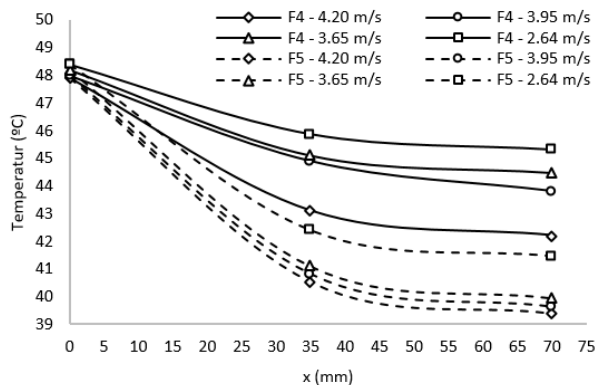
Gambar 9 merupakan grafik distribusi temperatur permukaan *fin* 10 mm pada baris ketiga dengan *set point* 50°C. Baris ketiga terdiri dari 4 *fin* dengan 2 *fin* terukur yaitu *fin* 4 dan *fin* 5. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa masing-masing *fin* mempunyai *trendline* yang sama. *Trendline* grafik menurun di sepanjang *fin* dengan temperatur tertinggi terjadi pada *fin* 4 yaitu sebesar 45.33°C, sedangkan temperatur *fin* 5 sebesar 41.48°C.



Gambar 7. Grafik distribusi temperatur permukaan sepanjang *fin* 10 mm pada baris kedua.

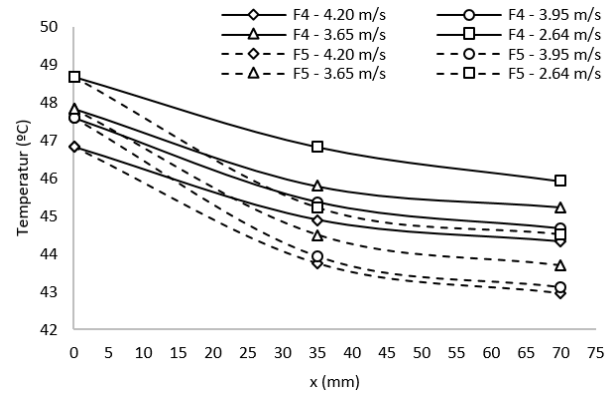


Gambar 8. Grafik distribusi temperatur permukaan sepanjang *fin* 16 mm pada baris kedua.

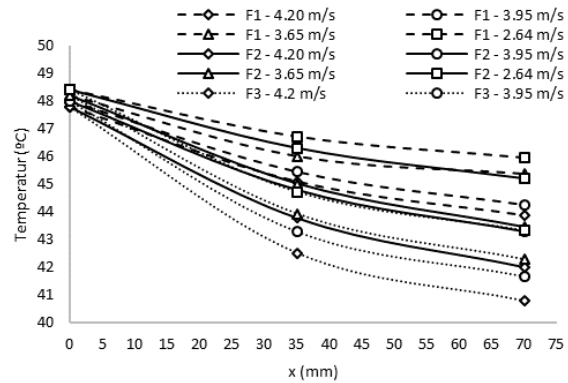


Gambar 9. Grafik distribusi temperatur permukaan sepanjang *fin* 10 mm pada baris ketiga.

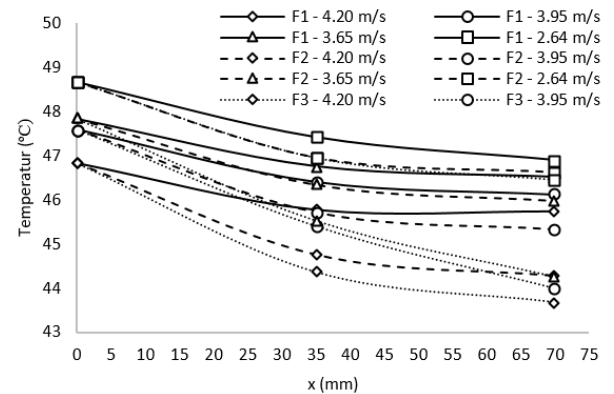
Gambar 10 merupakan grafik distribusi temperatur permukaan *fin* 16 mm pada baris ketiga dengan *set point* 50°C. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa masing-masing *fin* mempunyai *trendline* yang sama. *Trendline* grafik menurun di sepanjang *fin* dengan temperatur tertinggi terjadi pada *fin* 4 yaitu sebesar 45.92°C, sedangkan temperatur *fin* 5 sebesar 44.52°C.



Gambar 10. Grafik distribusi temperatur permukaan sepanjang *fin* 16 mm pada baris ketiga.



Gambar 11. Grafik distribusi temperatur permukaan sepanjang *fin* 10 mm pada baris keempat.



Gambar 12. Grafik distribusi temperatur permukaan sepanjang *fin* 16 mm pada baris keempat.

Gambar 11 merupakan grafik distribusi temperatur permukaan *fin* 10 mm pada baris keempat dengan *set point* 50°C. Baris keempat terdiri dari 5 *fin* dengan 3 *fin* terukur yaitu *fin* 1, 2, dan 3. Ketiga *fin* tersebut mempunyai *trendline* menurun di sepanjang *fin*. Temperatur tertinggi terjadi pada *fin* 1 dan temperatur terendah terjadi pada *fin* 3. Pada kecepatan fluida 2.64 m/s, temperatur *fin* 1, 2, dan 3 secara berturut-turut pada  $x = 70$  mm adalah 45.97°C, 45.19°C, dan 43.32°C.

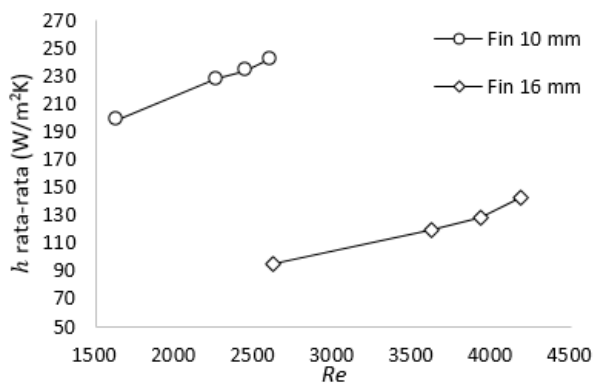
Gambar 12 merupakan grafik distribusi temperatur permukaan *fin* 16 mm pada baris keempat dengan *set point* 50°C. Baris keempat terdiri dari 5 *fin* dengan 3 *fin* terukur

yaitu *fin* 1, 2, dan 3. Ketiga *fin* tersebut mempunyai *trendline* menurun di sepanjang *fin*. Temperatur tertinggi terjadi pada *fin* 1 dan temperatur terendah terjadi pada *fin* 3. Pada kecepatan fluida 2.64 m/s, temperatur *fin* 1, 2, dan 3 secara berturut-turut pada  $x = 70$  mm adalah 46.89°C, 46.63°C, dan 46.46°C.

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah didapatkan, diketahui bahwa temperatur permukaan *fin* 16 mm mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada temperatur *fin* 10 mm. Kedua variasi diameter *fin* menunjukkan perilaku yang sama yaitu *fin* yang terletak di sebelah kiri mempunyai temperatur yang lebih tinggi daripada *fin* yang terletak di tengah dan sebelah kanan. *Fin* di sebelah kiri mempunyai temperatur yang lebih tinggi dikarenakan kecepatan fluida yang mengalir pada *ducting* sisi kiri lebih rendah dibandingkan di bagian tengah dan di sisi kanan. Kecepatan fluida yang lebih tinggi dapat membawa panas dari *fin* lebih besar dan menyebabkan terjadinya perpindahan panas yang lebih cepat. Oleh karena itu, *fin* di sisi kanan mempunyai temperatur yang lebih rendah daripada sisi yang lain.

Temperatur permukaan *fin* paling tinggi terjadi pada kecepatan fluida sebesar 2.64 m/s, kemudian mengalami penurunan berturut-turut pada kecepatan 3.65 m/s, 3.95 m/s, dan 4.20 m/s. Semakin besar kecepatan fluida yang mengalir melalui *fin*, maka semakin besar pula panas yang dapat terbawa oleh fluida tersebut, sehingga temperatur *fin* menjadi lebih rendah.

**B. Pengaruh Kecepatan Fluida terhadap Perpindahan Panas Fin**



Gambar 13. Grafik Pengaruh Reynolds number terhadap koefisien konveksi perpindahan panas

Gambar 13 merupakan grafik pengaruh Reynolds number terhadap koefisien perpindahan panas konveksi. Grafik tersebut mempunyai *trendline* yang cenderung naik. Kecepatan fluida berpengaruh terhadap nilai Reynolds number. Semakin besar kecepatan fluida, maka Reynolds number akan semakin besar. Begitu sebaliknya, ketika kecepatan fluida kecil, maka nilai Reynolds number juga kecil. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, koefisien konveksi terbesar terjadi pada saat kecepatan fluida 4.2 m/s, yaitu pada *fin* 10 mm sebesar 242.43 W/m²K dan pada *fin* 16 mm sebesar 142.53 W/m²K. Selain itu, Reynolds number mempunyai pengaruh terhadap besar Nusselt number seperti Persamaan 2, dimana Nusselt number merupakan fungsi dari Reynolds number. Nilai Nusselt number meningkat seiring meningkatnya Reynolds number.

Nilai koefisien koveksi rata-rata meningkat seiring bertambahnya Reynolds number. Pada kecepatan fluida yang sama, nilai koefisien konveksi *fin* diameter 10 mm mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada *fin* diameter 16

mm. Hal ini disebabkan oleh jarak antar *fin* 10 mm lebih lebar, fluida yang mengalir pada berkas *fin* diameter 10 mm lebih banyak, dan akan membawa panas lebih banyak daripada berkas *fin* diameter 16 mm, sehingga perpindahan panas yang terjadi pada *fin* diameter 10 mm lebih baik daripada *fin* diameter 16 mm

**IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah distribusi temperatur di sepanjang *fin* menurun. Temperatur permukaan *fin* tertinggi terjadi pada baris keempat. Semakin tinggi kecepatan fluida yang melalui berkas *fin*, semakin rendah pula temperatur *fin*, oleh karena itu, temperatur terendah dicapai pada kecepatan 4.20 m/s dan temperatur tertinggi terjadi pada kecepatan 2.64 m/s. Pada kecepatan yang sama, *fin* diameter 10 mm mempunyai koefisien konveksi yang lebih besar daripada *fin* diameter 16 mm, yaitu 242.431 W/m²K dan 142.534 W/m²K. Reynolds number terbesar terjadi pada kecepatan tertinggi yaitu 4.20 m/s. Semakin besar Reynolds number maka semakin tinggi koefisien konveksi yang terjadi.

**DAFTAR SIMBOL**

$A, A_s$	luas permukaan, m <sup>2</sup>
$A_c$	luas penampang, m <sup>2</sup>
$A_{ff}$	free flow area, m <sup>2</sup>
$A_t$	luas permukaan total, m <sup>2</sup>
$c_p$	panas jenis udara, J/kg. K
$h$	koefisien perpindahan panas konveksi, W/m <sup>2</sup> K
$H$	panjang <i>fin</i> , m
$k$	konduktivitas termal, W/mK
$L$	panjang, m
$L_c$	panjang karakteristik, m
$\dot{m}$	laju aliran massa udara, kg/s
$N_x$	jumlah <i>fin</i> arah longitudinal
$N_y$	jumlah <i>fin</i> arah transversal
$N_{xy}$	jumlah total
$Nu$	bilangan Nusselt
$Pr$	bilangan Prandtl
$q$	laju perpindahan panas, W
$Q_{in}$	panas masuk, W
$Re$	bilangan Reynolds
$S_D$	diagonal pitch, m
$S_L, S_x$	longitudinal pitch, m
$S_T, S_y$	transversal pitch, m
$T$	temperature, K
$V$	kecepatan, m/s
$W$	lebar, m

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] M. A. J. Rasel, M. Z. Islam, and A. Hasanat, "Analysis of heat transfer characteristics under forced convection in a rectangular body with circular fins," *Am. J. Eng. Res.*, vol. 5, no. 10, pp. 311–316, 2016.
- [2] D. Kamble, P. Gadhawe, S. Gole, and M. Gole, "An experimental investigation of forced convection heat transfer coefficient using various pin fins," *IJIRST-International J. Innov. Res. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 10, pp. 1–3, 2016.
- [3] C. Mageswaran, R. Muthukumaran, R. Karthikeyan, and R. Rathnasamy, "Heat transfer and friction in rectangular duct with pin-fin arrays," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 143–148, 2016.
- [4] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L., A. Bergman, and S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 2011.