

Studi Numerik Perpindahan Panas Konveksi Paksa pada *Pin Fin* Berpenampang *Circular* dengan Susunan *Aligned*

Rossi Cahyaningdias dan Ary Bachtiar Krishna Putra
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: aribach@me.its.ac.id

Abstrak—Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah ilmu yang mempelajari tentang cara perpindahan energi berupa panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Fenomena perpindahan panas gabungan antara konduksi dan konveksi dapat diaplikasikan melalui *pin fin*. Penambahan *fin* pada permukaan dimaksudkan untuk memperbesar *area*, sehingga meningkatkan laju perpindahan panas. Aplikasi pada *fin* diterapkan dalam perancangan alat praktikum perpindahan panas konveksi paksa melalui *fin* berpenampang *circular* susunan *aligned*. Untuk mengamati fenomena karakteristik perpindahan panas dan karakteristik aliran diperlukan studi numerik menggunakan perangkat lunak CFD. Analisis menggunakan perangkat lunak ICEM ANSYS 18.0 untuk proses *meshing* dan FLUENT 18.0 sebagai *solver* untuk melakukan simulasi. *Pin fin* berpenampang *circular* disusun secara *aligned* yang diletakkan di dalam *rectangular duct*. Variasi yang dilakukan berupa diameter 10 mm dan 16 mm dengan $ST=20\text{mm}$ $SL=20\text{mm}$ konstan dan panjang *fin* 70 mm. Pemanasan pada *circular fin* dilakukan dengan menjaga temperatur pada *base plate* tetap konstan 50°C . Dilakukan 4 variasi kecepatan udara masuk 2.64m/s, 3.65m/s, 3.96m/s dan 4.20m/s. Hasil akan ditampilkan baik secara kualitatif berupa gambar kontur temperatur, kontur tekanan dan kontur *streamline velocity* maupun secara kuantitatif berupa grafik distribusi temperatur sepanjang *pin fin*, grafik pengaruh diameter terhadap koefisien konveksi rata-rata setiap baris, grafik *nusselt number* dan *coefficient pressure*. Hasil dari penelitian ini didapatkan hasil distribusi temperatur menurun di sepanjang *pin fin*. Temperatur tertinggi dicapai pada kecepatan udara masuk 2.64 m/s dan temperatur terendah dicapai pada kecepatan udara masuk 4.20 m/s. Pada kecepatan yang sama, *pin fin* berdiameter 10 mm memiliki koefisien konveksi yang lebih besar daripada *pin fin* berdiameter 16 mm. Dari hasil simulasi didapatkan nilai *nusselt number* dan *coefficient pressure* lokal pada *pin fin* baris pertama sampai baris keempat. Perpindahan panas terbaik terjadi pada titik stagnasi yang ditunjukkan dengan nilai *nusselt number* terbesar. Nilai *nusselt number* minimum terdapat pada titik separasi. Nilai *pressure coefficient* maksimum terjadi pada titik stagnasi sedangkan *minimum* pada titik separasi.

Kata Kunci—*Aligned, Circular Pin Fin, Koefisien Konveksi, Nusselt Number, Pressure Coefficient.*

I. PENDAHULUAN

PERPINDAHAN panas (*heat transfer*) adalah ilmu yang mempelajari tentang cara perpindahan energi berupa panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Fenomena fisik perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi. Pada peristiwa konveksi, perpindahan panas terjadi karena terbawa aliran fluida. Konveksi dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Sedangkan fenomena perpindahan panas gabungan antara konduksi dan konveksi dapat

diaplikasikan melalui *pin fin*. Penambahan *pin fin* pada permukaan dimaksudkan untuk memperbesar *area*, sehingga meningkatkan laju perpindahan panas. Aplikasi pada *pin fin* dapat ditemui pada peralatan elektronik (CPU), radiator mobil, kondensor, dan sebagainya.

Aplikasi pada *pin fin* juga diterapkan dalam perancangan alat praktikum perpindahan panas konveksi paksa melalui *pin fin* berpenampang *circular* yang telah diteliti pada penelitian Linda v. Penelitian mengenai “Rancang Bangun Perangkat Praktikum Perpindahan Panas Konveksi Paksa pada Berkas *Pin Fin* Berpenampang *Circular* dengan Susunan *Aligned*” bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter *pin fin* dan kecepatan udara terhadap karakteristik perpindahan panas secara konveksi paksa serta mengetahui distribusi temperatur sepanjang *pin fin* berpenampang *circular* dengan susunan *aligned*.

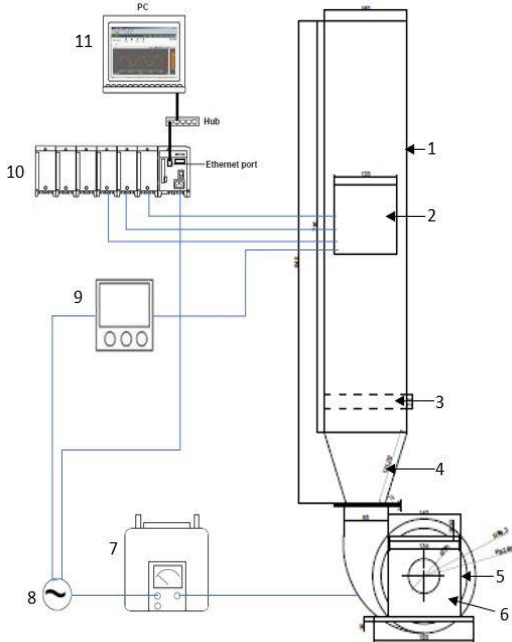
Untuk melakukan validasi pada hasil eksperimen tersebut maka diperlukan studi numerik menggunakan perangkat lunak CFD. Dalam bidang keteknikan metode CFD (*Computational fluid dynamics*) merupakan salah satu cara mudah untuk menyelesaikan suatu persamaan-persamaan yang berkaitan dengan dinamika fluida menggunakan komputer. CFD memiliki kelebihan untuk melakukan perhitungan dalam waktu yang singkat dan biaya yang cukup terjangkau dibandingkan dengan eksperimen. CFD juga dapat mengetahui fenomena aliran fluida pada alat praktikum perpindahan panas konveksi paksa pada *pin fin* berpenampang *circular* susunan *aligned*. Jika hasil dari studi numerik mendukung hasil ekperimental maka studi numerik menggunakan *software* CFD dapat digunakan karena dapat menghemat waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk membuat alat eksperimen

Studi ini akan membahas perancangan alat praktikum perpindahan panas konveksi paksa dan membahas karakteristik perpindahan panas serta karakteristik aliran yang melalui *pin fin* berpenampang *circular*. Untuk menganalisis fenomena konveksi paksa pada *pin fin* berpenampang *circular* dengan menyimulasikan aliran udara dan distribusi temperatur melalui *pin fin* pada *rectangular duct* dengan menggunakan *software* CFD. Kecepatan aliran udara, diameter dan susunan *pin fin* sangat berpengaruh terhadap kemampuan untuk menghantarkan panas. Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian ulang terhadap eksperimen terdahulu mengenai koefisien perpindahan panas pada *pin fin* berpenampang *circular* dengan susunan *aligned* dengan menggunakan metode CFD.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Objek Penelitian dan Pengumpulan Data

Objek penelitian, data, dan variasi didapatkan dari penelitian praktikum konveksi paksa yang telah dilakukan penelitiannya oleh Linda (2019) yang berjudul “Rancang Bangun Perangkat Praktikum Perpindahan Panas Konveksi Paksa Pada Berkas *Pin Fin* Berpenampang *Circular* Dengan Susunan *Aligned*. Objek penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 [1].



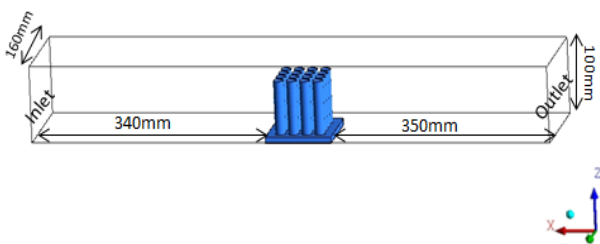
Gambar 1. Skema Alat Praktikum

B. Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri berupa *circular fin* susunan *aligned* dalam *ducting* yang memiliki dimensi Panjang (L) = 160 mm; Lebar (W) = 100 mm; Tinggi (H) = 790 mm

Circular pin fin dibuat dari material *Aluminium alloy* dengan dimensi Diameter (D) = 10 mm dan 16 mm; Panjang (L) = 70 mm; S_L = 20 mm; S_T = 20 mm

Pemodelan geometri menggunakan *software Design Modeller* untuk membuat domain simulasi seperti pada Gambar 2.

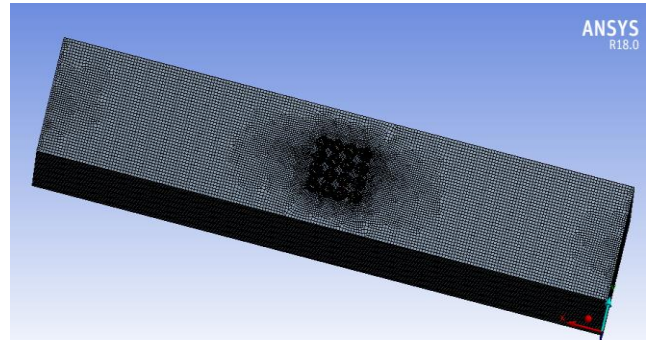


Gambar 2. Domain simulasi

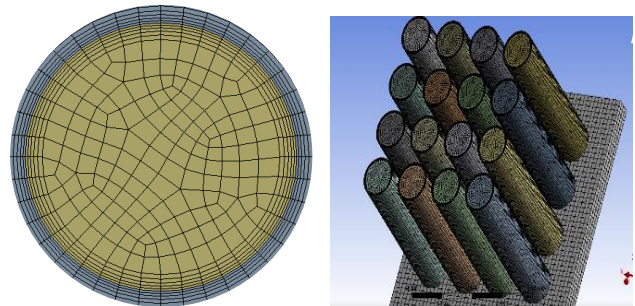
C. Meshing

Meshing dilakukan menggunakan *software Ansys 18.0*. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang baik diperlukan proses *grid independency test* yang bertujuan untuk menguji pengaruh kerapatan *mesh* terhadap temperatur dan nilai *properties* fluida. Setelah dilakukan *grid independency test* didapatkan jumlah *node* yang efisien sebanyak 1704536 *nodes* untuk *fin* diameter 10mm dan 1423582 *nodes* untuk *fin* diameter 16mm. *Meshing* dilakukan dengan metode *total*

thickness layer 1mm dengan *growth rate* 1.2 sebanyak 5 *layers* baik rapat didalam maupun diluar *fin*.



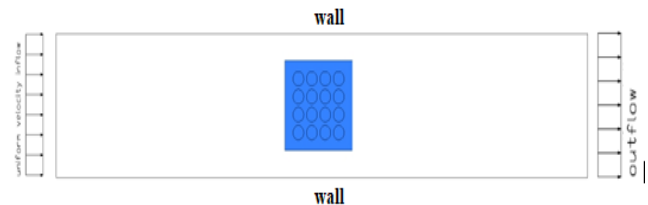
Gambar 3. Meshing rectangular duct



Gambar 4. Kerapatan meshing fluid zone dan solid zone

D. Boundary Condition

Pada bagian *inlet rectangular duct* didefinisikan sebagai *velocity inlet* dengan 4 variasi kecepatan sebesar 2.64 m/s; 3.65 m/s; 3.96 m/s; 4.20 m/s dengan temperatur 300 K. Pada bagian *outlet* diset *outflow*. *Finbase* didefinisikan sebagai *wall* dengan efek *thermal* (temperatur) sebesar 50°C



Gambar 5. Boundary condition simulasi

E. Solver

Solver yang digunakan untuk melakukan simulasi adalah FLUENT 18.0. Simulasi dilakukan dalam keadaan *steady* dengan *Energy on* karena melihat efek perpindahan panas yang akan terjadi. *Viscous model* yang dipilih adalah model *Realizable k-ε*. Model *Realizable k-ε* memberikan kinerja terbaik dari semua versi model untuk beberapa validasi arus dan aliran separasi yang banyak terjadi di susunan *pin fin*.

F. Perhitungan

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui koefisien konveksi per baris *circular fin* dan koefisien konveksi rata-rata seluruh *circular fin*.

Koefisien konveksi per baris *circular fin* [2]:

$$h = \frac{q''}{(T_s - T_\infty)}$$

$$T_\infty = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

Dimana h merupakan koefisien konveksi rata-rata per baris, dengan nilai *wall heat flux* didapatkan dari Fluent

berdasarkan hasil simulasi. T_s merupakan temperatur rata-rata setiap fin yang nilai nya diambil dari Fluent.

Koefisien konveksi rata-rata seluruh *circular fin*, dengan nilai *wall heat flux* rata-rata [2]:

$$\bar{h} = \frac{q''}{\Delta T_{lm}}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_f - T_i) - (T_f - T_o)}{\ln\left(\frac{T_f - T_i}{T_f - T_o}\right)}$$

Temperatur *log-mean temperature different* merupakan temperatur rata-rata fluida untuk keseluruhan *circular fin* susunan *aligned*.

Reynolds number [3]

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Untuk melihat perpindahan panas lokal dan karakteristik aliran dicari melalui *nusselt number* lokal dan *pressure coefficient*.

Nusselt Number Local [2]

$$Nu_{\theta} = \frac{h_{\theta} \times D}{k}$$

Pressure Coefficient Local [3]

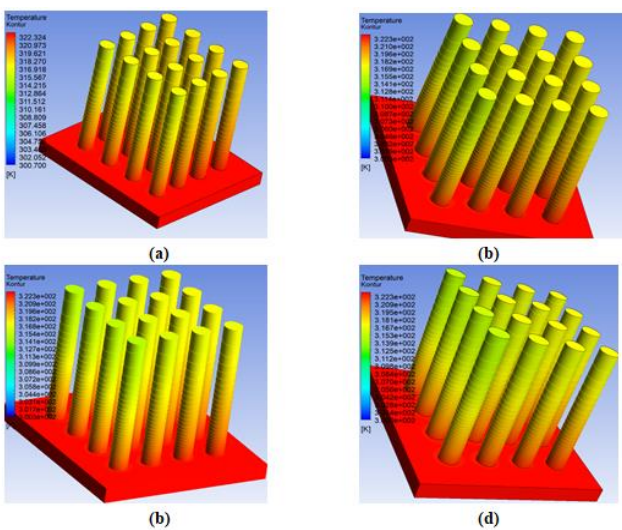
$$Cp = \frac{P - P_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

P_{∞} merupakan tekanan statik pada *freestream* sedangkan P merupakan tekanan statik lokal pada *fin*

III. HASIL DAN ANALISA

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan data kualitatif berupa kontur temperatur, kontur tekanan dan *streamline velocity*. Sedangkan data kuantitatif didapatkan grafik distribusi temperatur sepanjang *circular fin*, grafik pengaruh diameter terhadap perpindahan panas, grafik *nusselt number* lokal serta grafik *pressure coefficient* lokal.

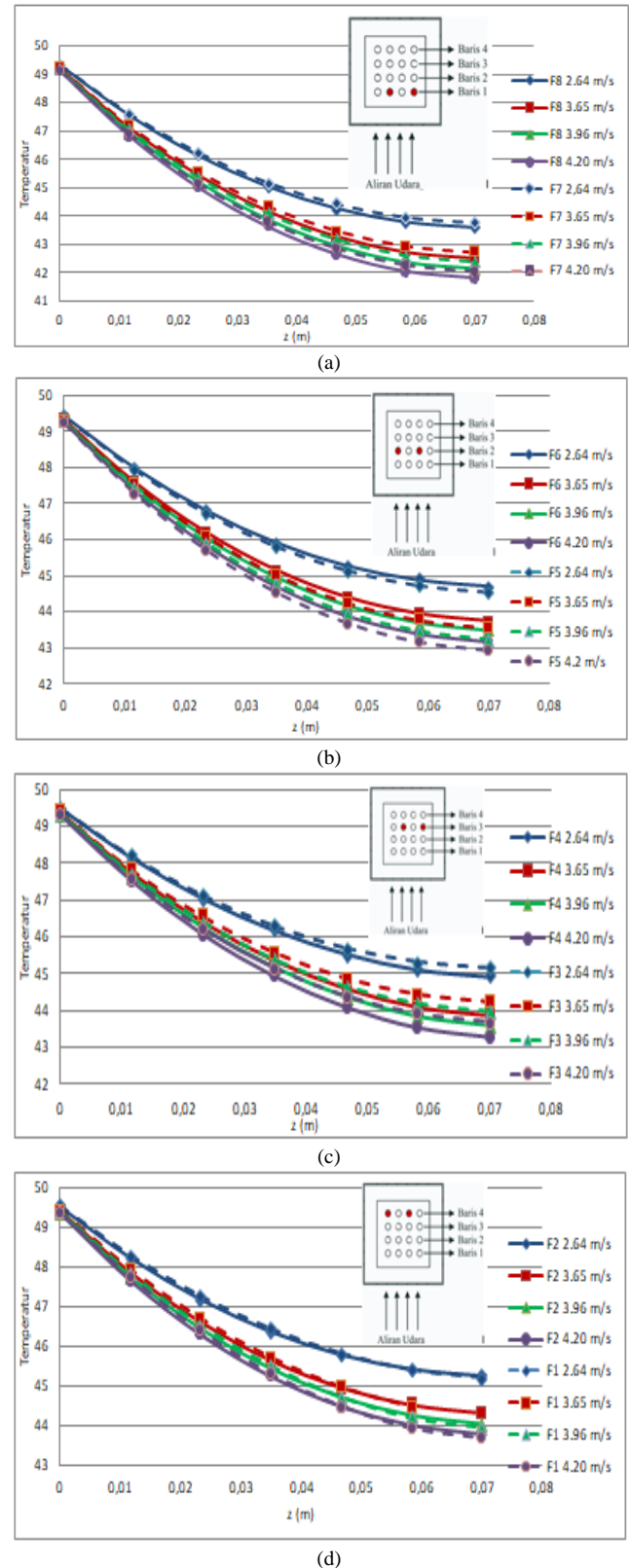
A. Distribusi Temperatur Circular Fin Diameter 10 mm



Gambar 6. Kontur temperatur sepanjang *pin fin* diameter 10mm (a) $v=2.64$ m/s (b) $v=3.65$ m/s (c) $v=3.96$ m/s (d) $v=4.20$ m/s

Gambar 6 merupakan distribusi temperatur sepanjang *fin* pada *circular fin* diameter 10 mm, dari hasil kontur tersebut didapatkan temperatur paling dingin berada pada kecepatan udara masuk 4.20 m/s ditunjukkan dengan warnanya yang

lebih hijau sedangkan temperatur *fin* paling panas terdapat pada kecepatan udara masuk 2.64 m/s.

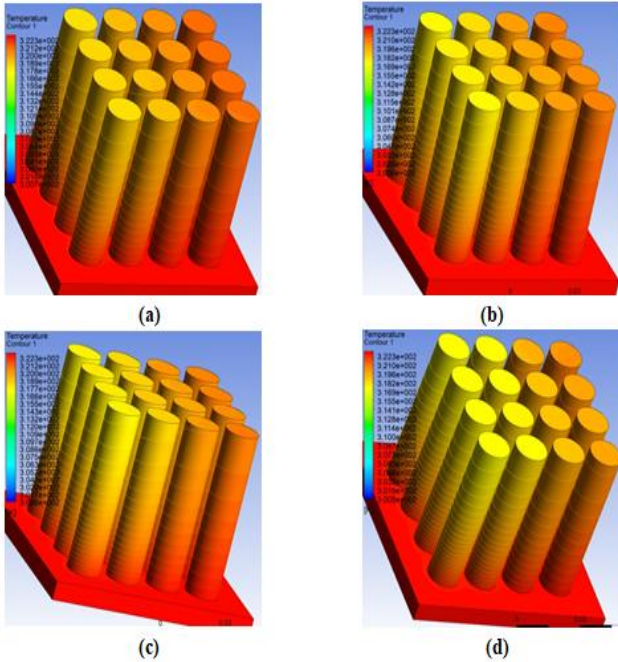


Gambar 7. Grafik distribusi temperatur *pin fin* diameter 10 mm (a) Row 1 (b) Row 2 (c) Row 3 (d) Row 4

Pada Gambar 7 (a)(b)(c)(d) menunjukkan bahwa temperatur terendah terdapat pada ujung *pin fin* atau $x = 70$ mm sedangkan temperatur tertinggi terdapat pada *base plate* atau $x = 0$ mm. Temperatur permukaan *pin fin* paling tinggi dicapai pada kecepatan fluida sebesar 2.64 m/s dan mengalami penurunan temperatur pada kecepatan fluida 3.65 m/s, 3.95 m/s, dan 4.20 m/s. Semakin besar kecepatan fluida,

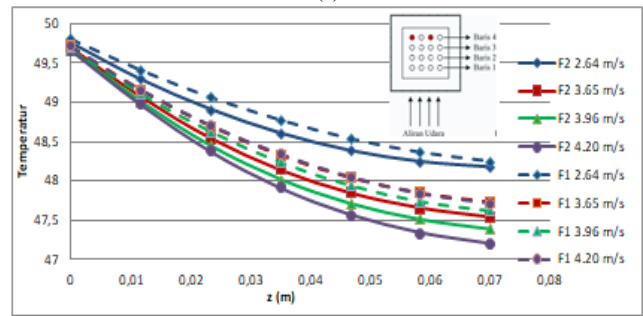
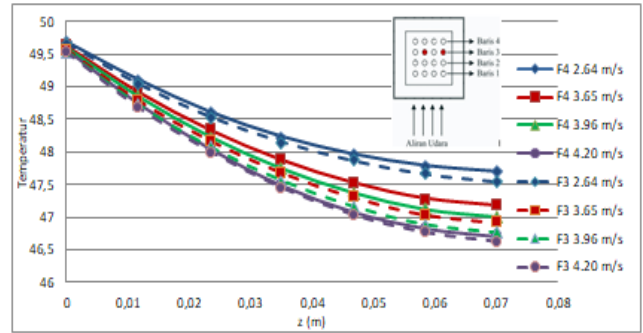
semakin besar pula laju alir massa fluida yang mengalir. Fluida yang melalui *pin fin* dengan kecepatan tinggi dapat membawa panas lebih besar sehingga temperatur *pin fin* yang dilewati aliran udara menjadi lebih rendah. Semakin besar kecepatan fluida maka semakin besar laju perpindahan panas konveksi.

B. Distribusi Temperatur Circular Fin Diameter 16 mm



Gambar 8. Kontur temperatur sepanjang *pin fin* diameter 16mm (a) $v=2.64$ m/s (b) $v=3.65$ m/s (c) $v=3.96$ m/s (d) $v=4.20$ m/s

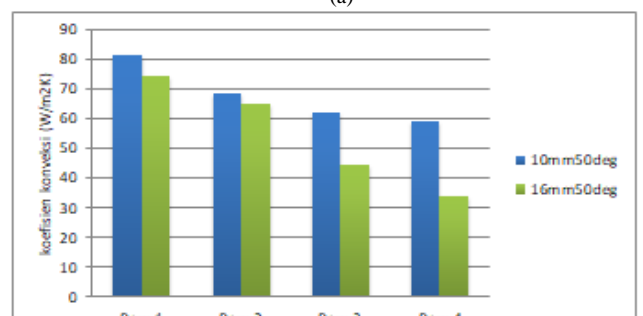
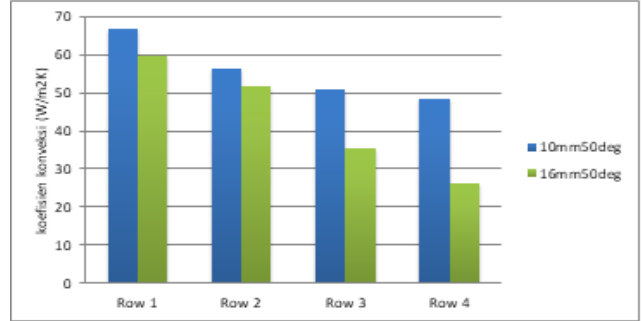
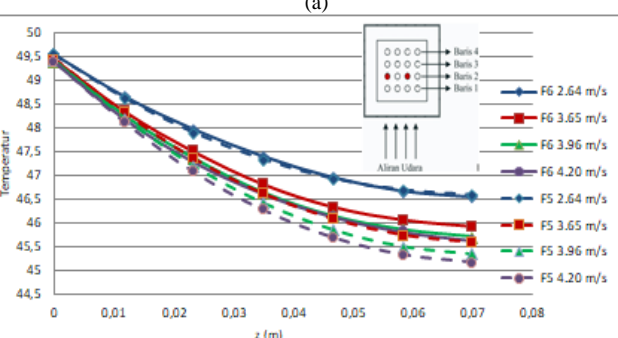
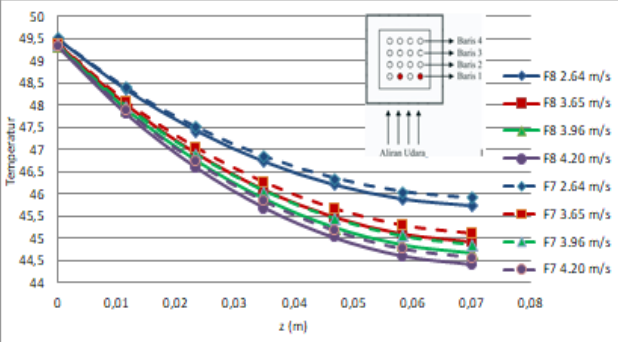
Gambar 8 merupakan distribusi temperatur sepanjang *fin* pada *circular fin* diameter 16 mm, dari hasil kontur tersebut didapatkan temperatur paling dingin berada pada kecepatan udara masuk 4.20 m/s ditunjukkan dengan warnanya yang lebih hijau sedangkan temperatur *fin* paling panas terdapat pada kecepatan udara masuk 2.64 m/s.



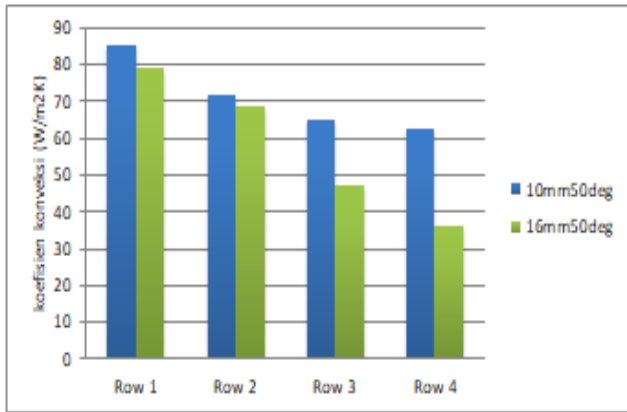
Gambar 9. Grafik distribusi temperatur *pin fin* diameter 16 mm (a) Row 1 (b) Row 2 (c) Row 3 (d) Row 4

Pada Gambar 9 (a)(b)(c)(d) menunjukkan bahwa temperatur terendah terdapat pada ujung *pin fin* atau $z = 70$ mm sedangkan temperatur tertinggi terdapat pada *base plate* atau $z = 0$ mm. Temperatur permukaan *pin fin* paling tinggi dicapai pada kecepatan fluida sebesar 2.64 m/s dan mengalami penurunan temperatur pada kecepatan fluida 3.65 m/s, 3.95 m/s, dan 4.20 m/s. Semakin besar kecepatan fluida, semakin besar pula laju alir massa fluida yang mengalir. Fluida yang melalui *pin fin* dengan kecepatan tinggi dapat membawa panas lebih besar sehingga temperatur *pin fin* yang dilewati aliran udara menjadi lebih rendah. Semakin besar kecepatan fluida maka semakin besar laju perpindahan panas konveksi.

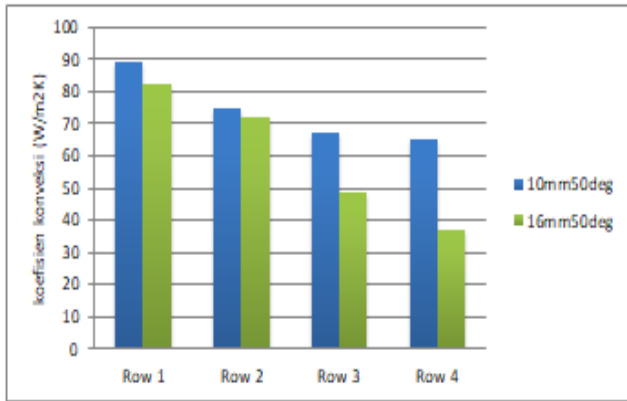
C. Pengaruh Diameter terhadap Perpindahan Panas Fin



(a) (b)



(c)



(d)

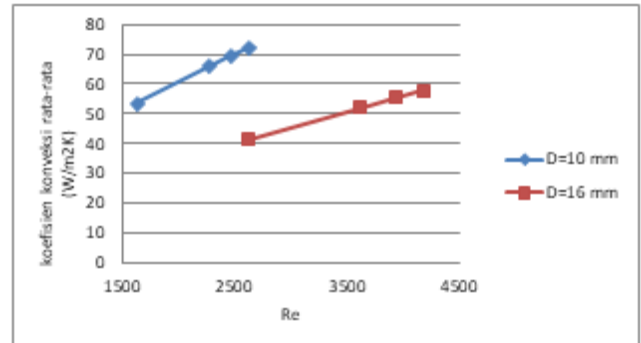
Gambar 10. Diagram pengaruh diameter *fin* terhadap koefisien konveksi rata-rata (a) $v=4.20$ m/s (b) $v=3.96$ m/s (c) $v=3.65$ m/s (d) $v=2.64$ m/s.

Berdasarkan persamaan $\bar{h} = \frac{q''}{(T_s - T_{udara})}$, diketahui bahwa nilai koefisien konveksi dipengaruhi oleh temperatur, propertis fluida dan geometri *fin*. Propertis pada temperatur fluida menunjukkan perbedaan yang cukup kecil atau tidak signifikan sehingga tidak terlalu berpengaruh pada besarnya perbedaan nilai konveksi rata-rata pada diameter yang berbeda. Perbedaan temperatur paling besar terjadi pada baris pertama daripada baris yang lain, sehingga menyebabkan koefisien konveksi rata-rata pada baris pertama mempunyai nilai yang lebih besar daripada baris yang lain. Selain itu, *fin* baris pertama didekati dengan kondisi aliran yang melalui *single fin*, dimana tidak ada interaksi dengan *fin* sebelumnya sehingga koefisien konveksi rata-rata paling tinggi. Hal ini dapat terjadi disebabkan karena pengaruh geometri *pin fin* yang dapat meningkatkan perpindahan panas. Luas permukaan *pin fin* (A_{fin}) diameter 10 mm lebih kecil daripada luas permukaan *pin fin* (A_{fin}) dengan diameter 16 mm. Hal ini menyebabkan aliran fluida dapat menyentuh permukaan dan membawa panas yang lebih banyak. *Pin fin* dengan diameter 10 mm mempunyai *pitch* atau spasi antar *pin fin* lebih besar daripada *pitch* atau spasi antar *pin fin* pada diameter 16 mm. Hal ini menyebabkan aliran fluida yang melalui *pin fin* lebih banyak, sehingga panas yang terbawa oleh fluida akan semakin besar dan menyebabkan penurunan temperatur *pin fin* lebih besar dibandingkan *pin fin* dengan diameter 16 mm.

D. Pengaruh Kecepatan terhadap Perpindahan Panas Fin

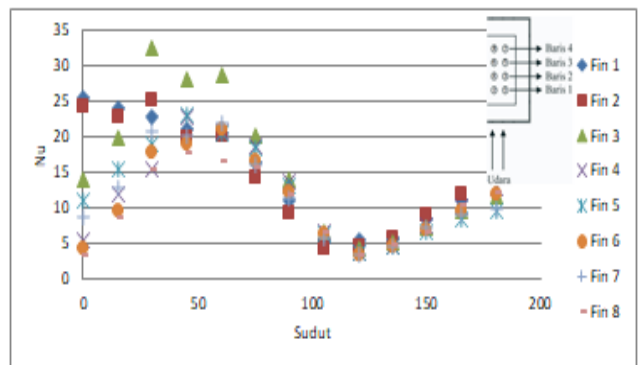
Nilai kecepatan fluida berpengaruh terhadap nilai *reynolds number*. *reynolds number* akan meningkat seiring bertambah besarnya kecepatan fluida. Selain itu, nilai *reynolds number* memiliki pengaruh terhadap nilai *Nusselt number*, di mana *nusselt number* merupakan fungsi dari *reynolds number*, sehingga nilai *nusselt number* meningkat seiring

meningkatnya *reynolds number*. Untuk diameter yang lebih kecil, nilai koefisien konveksi rata-rata lebih besar daripada diameter yang lebih besar. Hal ini dikarenakan, pada diameter 10 mm, *pitch* atau spasi antar *pin fin* semakin besar sehingga menyebabkan interaksi perpindahan panas antar *pin fin* menjadi berkurang, akibatnya perpindahan panas yang terjadi lebih besar yang ditunjukkan dengan nilai koefisien konveksi yang lebih besar.

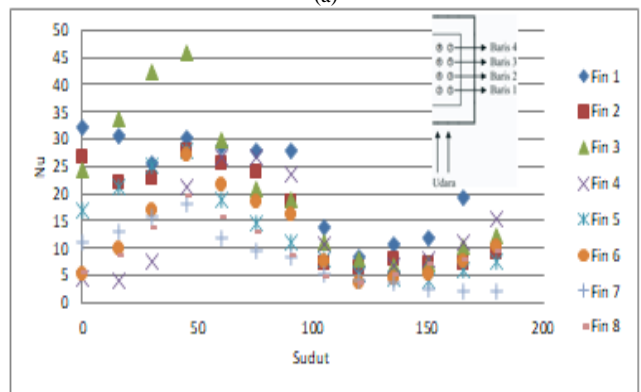


Gambar 11. Grafik pengaruh *Reynolds Number* terhadap perpindahan panas *circular fin*

E. Nusselt Number Lokal dan Pressure Coefficient Lokal

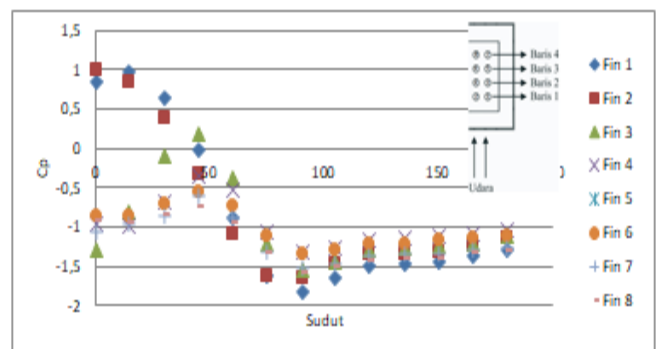


(a)

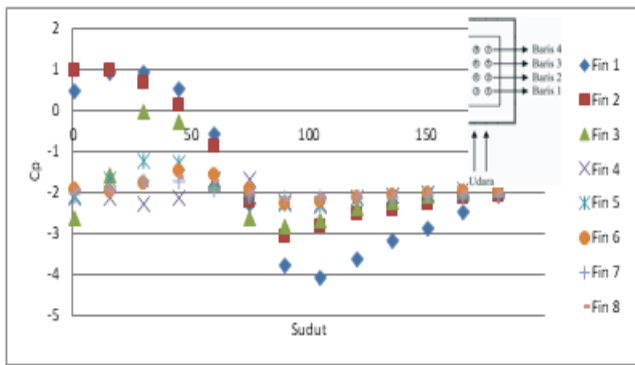


(b)

Gambar 12. Grafik distribusi *nusselt number* (a) $D = 10$ mm (b) $D = 16$ mm



(a)



(b)

Gambar 12. Grafik distribusi *pressure coefficient* (a) $D = 10 \text{ mm}$ (b) $D = 16 \text{ mm}$

Berdasarkan hasil simulasi dan grafik Gambar 12 didapatkan koefisien konveksi dan tekanan statis lokal semakin menurun dengan meningkatnya jarak dari titik stagnasi. Perpindahan panas terbesar terjadi pada titik stagnasi dan berkurang seiring bertambahnya jarak sepanjang meningkatnya *boundary layer thickness*. Perpindahan panas minimum berada disisi *pin fin* dekat titik separasi. Setelah titik separasi perpindahan panas lokal meningkat kembali akibat adanya turbulensi yang berada pada sisi belakang *pin fin* tempat terjadinya *wake*. Tetapi perpindahan panas dibagian belakang *pin fin* tidak lebih tinggi daripada perpindahan panas di depan *pin fin*.

IV. KESIMPULAN

Distribusi temperatur sepanjang *pin fin* menurun di sepanjang *pin fin*. Temperatur permukaan *pin fin* tertinggi dicapai oleh *pin fin* baris keempat. Semakin tinggi kecepatan fluida yang melalui *pin fin*, semakin rendah temperatur pada *pin fin*. Oleh karena itu, temperatur terendah dicapai pada kecepatan 4.20 m/s dan temperatur tertinggi dicapai pada kecepatan 2.64 m/s . Jadi, semakin tinggi kecepatan udara masuk maka perpindahan panas pada permukaan *pin fin* semakin baik. Pada kecepatan yang sama *pin fin* diameter 10 mm memiliki koefisien konveksi rata-rata setiap baris yang lebih baik daripada *pin fin* diameter 16 mm . Sehingga *pin fin* diameter 10 mm memiliki perpindahan panas yang lebih baik daripada *pin fin* diameter 16 mm . Perpindahan panas terbaik terjadi pada titik stagnasi yang ditunjukkan dengan nilai *nusselt number* terbesar. Nilai *nusselt number* minimum terdapat pada daerah atau titik separasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Wijiati, *Rancang Bangun Perangkat Praktikum Perpindahan Panas Konveksi Paksa Pada Berkas Pin Fin Berpenampang Circular*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [2] T. L. Bergman and F. P. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7 ed. New Jersey: Wiley, 2011.
- [3] R. W. Fox, P. J. Pritchard, and A. T. McDonald, *Introduction to Fluid Mechanics*, 8th ed. Hoboken NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2011.