

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

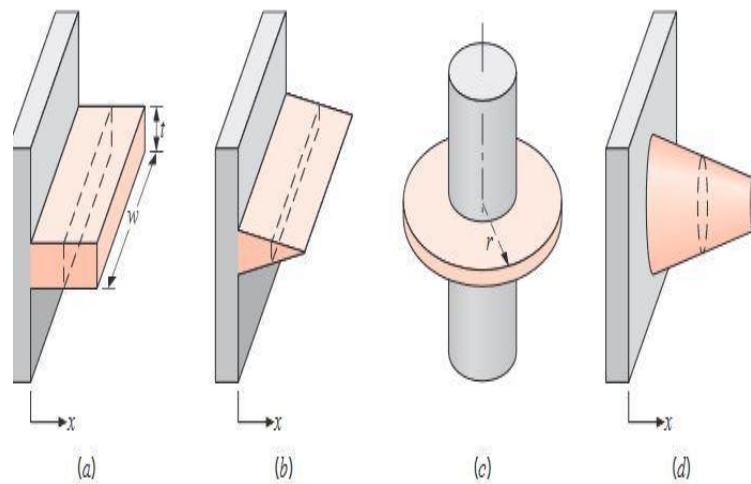
2.1 Fin

Dalam perpindahan panas umumnya dapat melalui berbagai macam kasus salah satunya yang melibatkan efek konduksi-konveksi dimana perpindahan panas melalui proses konduksi dan konveksi bersamaan pada suatu lapisan batas. Istilah tersebut sering disebut *extended surface*. Terdapat banyak kasus yang melibatkan efek konduksi-konveksi, aplikasi yang paling sering ditemukan dimana *extended surface* digunakan secara khusus untuk meningkatkan transfer panas. *Extended surface* seperti itu sering disebut *fin*[6].

Fin merupakan salah satu bagian alat penukar panas yang dirancang sedemikian rupa sehingga berfungsi untuk meningkatkan perpindahan panas dan meningkatkan kecepatan perpindahan panas yang terjadi. Aplikasi *fin* banyak kita jumpai pada kehidupan sehari-hari. Misalnya pada trafo, sepeda motor, dan CPU. Salah satu contohnya dimana *fin* berguna untuk menghindari panas berlebih pada silinder piston yang dapat mengakibatkan piston mengunci. Selain itu pada trafo, *fin* berguna untuk mendinginkan trafo tersebut dari panas yang berlebih[7].

Fin memiliki tipe bentuk yang bermacam-macam, antara lain[6]:

- a. *Straight fin*, dimana *fin* dipasang pada dinding suatu bidang yang berupa suatu penampang yang seragam atau variasi dengan jarak x dari dinding permukaan.
- b. *Annular fin*, dimana *fin* dipasang secara melingkar pada silinder
- c. *Pin fin*, dimana *fin* dipasang pada permukaan yang seragam maupun tidak yang bentuk seperti jarum-jarum.

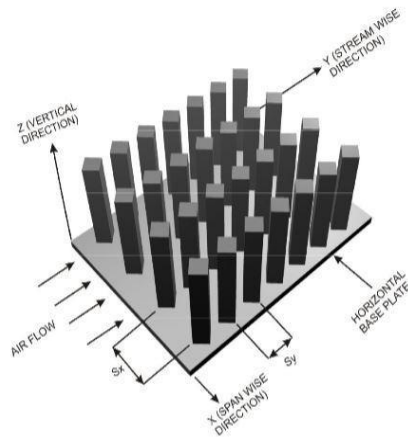


Gambar 2. 1 Tipe-tipe fin[6]

Pada umumnya *fin* terbuat dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal tinggi. Misalnya bahan yang paling sering digunakan antara aluminium maupun tembaga. Kedua bahan tersebut mampu menyerap panas dengan cepat. Kedua bahan tersebut memiliki keunggulan dan kelebihan masing-masing. Namun, aluminium lebih sering dipakai karena lebih ringan dan lebih murah serta fabrikasinya mudah dilakukan.[7]

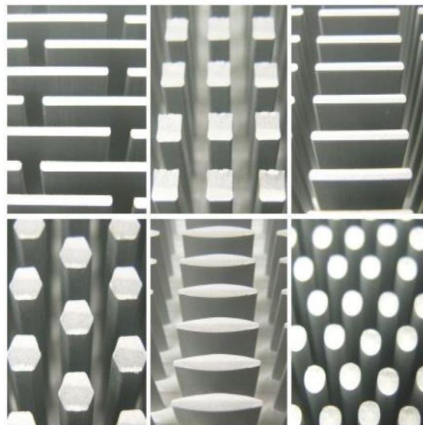
2.2 Pin Fin

Pin fin merupakan salah satu jenis *fin* yang umumnya berbentuk silinder dan dipasang tegak lurus terhadap permukaan plat dimana fluida mengalir secara melintang pada permukaan tersebut. *Pin fin* dapat digolongkan berbagai macam dan variasi mulai dari bentuk, tinggi, dan diameter. Misalnya berdasarkan perbandingan tinggi-diameter terdapat *short pin fin* dan *long pin fin*. Pengaruh bentuk, tinggi, dan diameter sangat berpengaruh terhadap hasil pengujian koefisien perpindahan panas yang didapatkan[5].



Gambar 2. 2 Pin Fin[5]

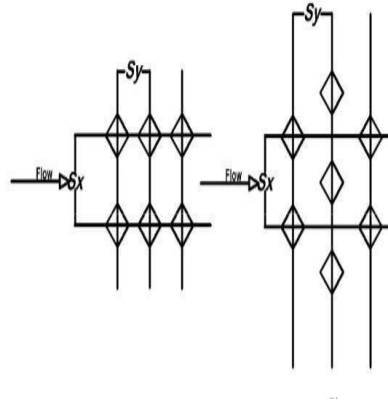
Terdapat berbagai parameter yang menggolongkan sirip pin, seperti bentuk, tinggi, diameter, perbandingan tinggi-diameter (H/D) atau interpich- diameter (P/D)[8]. Pin fin juga memiliki tipe berdasarkan bentuk geometri surface dari pin itu sendiri. Antara lain terdapat bentuk *elips*, segi empat, *diamond*, *hexagonal*, bujur sangkar serta silinder. Umumnya bentuk yang paling sering digunakan yaitu bentuk silinder[9].



Gambar 2. 3 Bentuk-bentuk Pin Fin [9]

Pin Fin juga dapat divariasikan berdasarkan susunannya. Pin fin dapat disusun dalam susunan sejajar (*aligned*) dan selang-seling (*staggered*). Susunan sejajar dimana susunan antara satu baris dengan yang lainnya satu arah dan memiliki

jumlah susunan yang sama sedangkan susunan selang-seling dimana terdapat jarak antar susunan pin dan jumlah tiap baris biasanya berbeda[10].

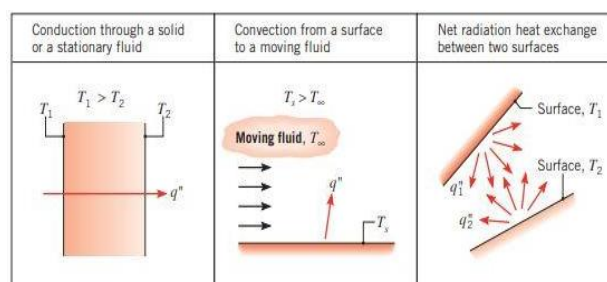


Gambar 2. 4 Susunan Pin Fin [10]

2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Antara lain sebagai berikut[11]:

- Konduksi adalah perpindahan panas ketika gradien suhu ada dalam media stasioner, yang mungkin berupa padatan atau fluida.
- Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi antara dua permukaan pada temperatur yang berbeda tanpa adanya suatu media
- Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan dan cairan yang bergerak ketika mereka pada suhu yang berbeda.

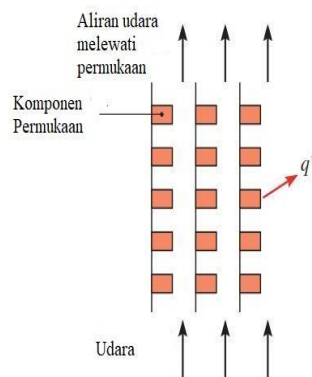


Gambar 2. 5 Proses Perpindahan Panas[11]

2.4 Perpindahan Panas Secara Konveksi

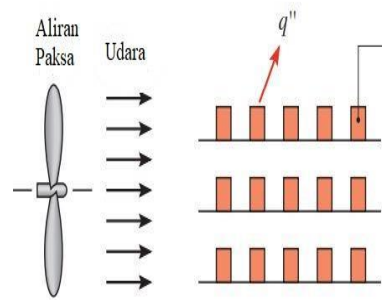
Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan zat dengan fluida yang bergerak dan keduanya mempunyai perbedaan temperatur. Selain itu, perpindahan panas secara konveksi dikategorikan berdasarkan terjadinya aliran fluida antara lain:

- a. Konveksi alami (*free convection*) terjadi karena fluida mengalami proses pemanasan, berubah densitasnya dan bergerak naik. Gerakan fluida dalam konveksi alami, baik fluida itu gas maupun zat cair terjadi karena gaya apung (*bouyancy force*) yang dialami apabila densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kalor berkurang sebagai akibat proses pemanasan[12].



Gambar 2. 6 Konveksi Alami [11]

- b. Konveksi paksa merupakan proses perpindahan panas aliran gas atau cairan yang disebabkan adanya pengaruh tenaga dari luar. Proses dengan cara konveksi yang dipaksakan terjadi jika fluida digerakkan oleh energi dari luar. Misalnya: plat panas dihembuskan udara menggunakan kipas/blower. Secara umum, perbedaan antara konveksi paksa dan konveksi alami yaitu pada konveksi paksa kecepatan fluida ditentukan oleh gaya dari luar sedangkan pada konveksi alami diakibatkan oleh kenaikan gaya apung akibat variasi temperatur dan densitas dari partikel suatu material[12].



Gambar 2. 7 Konveksi Paksa[11]

Laju perpindahan panas konveksi secara didapat dengan menggunakan (hukum) *newton's law of cooling*, yaitu [12]:

$$q = hA (T_s - T_{\infty}) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana,

- q : Laju perpindahan panas konveksi (Watt)
- h : Koefisien perpindahan panas konveksi (Wm^2/K)
- A : Luas penampang (m^2)
- T_s : Temperatur Surface (K)
- T_{∞} : Temperatur masuk fluida (K)

Sesuai dengan kondisi laju perpindahan panas konveksi dari permukaan fin dan base plate, maka nilai A didapatkan dengan persamaan dibawah ini[15]:

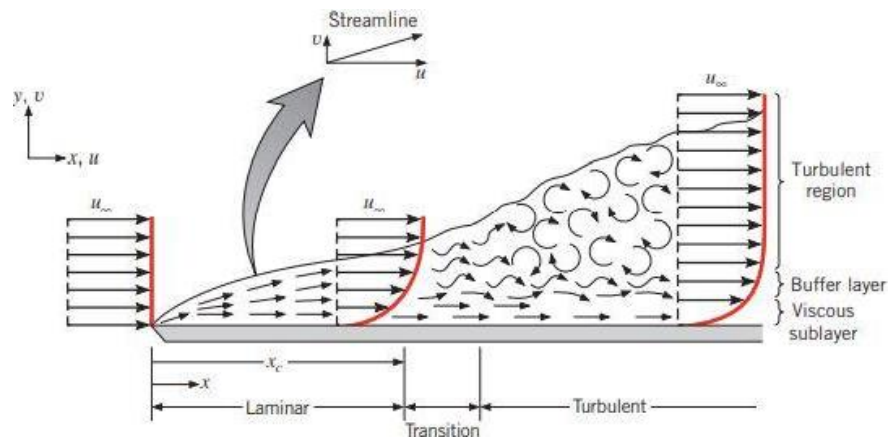
$$A = WL + \pi DHN \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana,

- W : panjang base plate
- L : lebar base plate
- D : diameter fin
- H : panjang fin
- N : jumlah fin

2.5 Boundary Layers

Boundary layers adalah lapisan tipis pada solid surface yang terbatas daerah sangat sempit dekat permukaan kontur dimana adanya gradien kecepatan sebagai pengaruh dari tegangan geser yang muncul akibat adanya viskositas. Pengembangan *boundary layers* pada plat datar diilustrasikan pada gambar dibawah ini[13]:



Gambar 2. 8 Lapisan Batas Pada Plat Datar[14]

Dalam banyak kasus, kondisi suatu aliran laminar dan turbulen terjadi melalui kondisi laminar terjadi terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan terjadinya kondisi turbulen. Pengelompokan aliran yang mengalir di atas plat diketahui berdasarkan nilai dari bilangan Reynolds. Transisi dari aliran laminar menjadi aliran turbulen tergantung pada bentuk geometri, kekasaran permukaan, kecepatan aliran, temperatur permukaan dan tipe dari fluida dikarakteristikan dengan bilangan Reynold. Bilangan Reynolds ditunjukkan pada persamaan:

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} = \frac{V D_h}{\nu} \dots \dots \dots (2.3)$$

V : kecepatan aliran udara rata-rata dalam saluran udara (m/s)

D_h : diameter hidrolis (m)

ν : viskositas kinematik udara (m^2/s)

ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

μ : viskositas dinamik udara ($kg/m.s$)

Nilai dari bilangan Reynolds akan bervariasi sepanjang plat datar. Untuk aliran yang mengalir diatas plat datar, proses transisi dari laminar menjadi aliran turbulen terjadi pada angka Reynold kritis pada $Re = 5 \times 10^5$. Angka Reynold kritis pada plat datar akan bernilai bervariasi dari nilai 10^5 sampai 3×10^6 untuk aliran sepanjang plat rata, lapisan batas selalu turbulen untuk $Re \geq 4 \times 10^6$ tergantung pada kekasaran permukaan dan level turbulensi dari aliran[14].

2.6 Perpindahan Panas Pada Aliran Dalam (*Internal Flow*)

Perpindahan panas akibat aliran fluida yang terjadi di dalam pipa merupakan aliran internal dimana *boundary layer* tidak memungkinkan untuk berkembang dikarenakan dibatasi oleh *surface*. Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi di dalam *tube* sama dengan menghitung nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi didalam *pin*, dengan persamaan sebagai berikut[11]:

$$h = \frac{q}{A \Delta T_{LMTD}} \quad (2.4)$$

Dimana :

h : koefisien konveksi (Wm^2/K)

q : laju perpindahan panas konveksi (W)

ΔT_{LMTD} : Temperatur rata-rata logaritmik (K)

A : Luas permukaan(m^2)

Pada aliran internal nilai *Nusselt Number* dapat dihitung berdasarkan jenis aliran yaitu[11]:

a. Aliran Laminar

Aliran ini terjadi jika nilai dari $Re_D < 2300$. Perpindahan panas pada aliran ini dapat ditinjau dari heat flux permukaan konstan temperatur permukaan konstan, nusselt number konstan, serta tidak bergantung pada Reynolds Number dan Prandtl Number, Persamaannya sebagai berikut:

Jika T pada seluruh permukaan konstan maka:

$$Nu = \frac{hD}{k} = 4,36 \quad (q = \text{konstan}) \quad (2.5)$$

Jika T_s pada seluruh permukaan perpindahan panas konstan maka:

$$Nu = \frac{h D}{k} = 3,66 \quad (T_s = \text{konstan}) \quad (2.6)$$

b. Aliran Turbulen

Aliran ini terjadi jika nilai $Re_D \geq 4000$. Di dalam aliran ini untuk menghitung nusselt number dapat dicari dengan menggunakan persamaan *dittus-boelter*. Dengan pengaruh jenis perpindahan panas menjadi salah satu faktor yang diperhitungkan (*cooling* atau *heating*).

$$Nu = 0,0023 Re^{\frac{4}{5}} Pr^n \quad (2.7)$$

Dimana:

Pr: Prandtl Number

n: 0.4 untuk proses heating ($T_s > T_m$) dan 0.3 untuk proses cooling ($T_s < T_m$)

2.7 Perpindahan Panas Pada Aliran Luar (*External Flow*)

Perpindahan panas akibat aliran fluida yang terjadi di luar pipa dianalisa berdasarkan analisa perpindahan panas secara konveksi yang melewati susunan tube. Besarnya koefisien perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh tingkat turbulensi aliran dan jumlah baris pada tube. Ada dua jenis susunan tube yaitu susunan sejajar dan staggered. Jenis Aliran dapat dicari dengan persamaan Reynolds Number [11]:

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} = \frac{V D_h}{\nu} \dots \dots \dots (2.8)$$

Pada External Flow, Nilai Nusselt Number dapat dicari dengan perumusan sebagai berikut:

$$Nu = \frac{h D_h}{k} = C Re^m Pr^n \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:






C : Nilai Konstanta C

m : Nilai Konstanta m

Pr : Prandtl Number

Nilai C,m,dan n dapat ditentukan berdasarkan jenis aliran fluida dan geometrinya permukaan pinnya. Nilai tersebut bisa didapatkan berdasarkan tabel berikut:

TABLE 7.3 Constants of Equation 7.52 for noncircular cylinders in cross flow of a gas [13]

Geometry	Re_D	C	m
Square 	$5 \times 10^3 - 10^5$	0.246	0.588
	$5 \times 10^3 - 10^5$	0.102	0.675
Hexagon 	$5 \times 10^3 - 1.95 \times 10^4$ $1.95 \times 10^4 - 10^5$	0.160 0.0385	0.638 0.782
	$5 \times 10^3 - 10^5$	0.153	0.638
Vertical plate 	$4 \times 10^3 - 1.5 \times 10^4$	0.228	0.731

Gambar 2. 9 Koefisien C dan m pada penampang non-silinder[14]

2.9 Log Mean Temperature Difference (ΔT_{LMTD})

LMTD merupakan temperatur rata-rata logaritmik dari suatu inlet dan outlet fluida yang mengalir pada suatu penukar panas. Dengan mencari nilai ΔT_{LMTD} kita dapat mencari nilai laju perpindahan panas. Perumusan ΔT_{LMTD} sebagai berikut[11]:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln \frac{T_s - T_i}{T_s - T_o}} \quad \dots\dots(2.11)$$

Dimana:

ΔT_{LMTD} : Temperatur rata-rata logaritmik (K)

T_s : Temperatur surface (K)

T_i : Temperatur inlet (K)

T_o : Temperatur outlet (K)

2.10 Effectiveness

Effectiveness (ϵ) ialah rasio perbandingan antara laju perpindahan panas dengan menggunakan fin dibandingkan dengan laju perpindahan panas tanpa

menggunakan fin. Untuk perumusan Effectiveness, data dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut[11]:

$$\varepsilon = \frac{q_f}{hA_s\Delta T} \quad \dots (2.13)$$

Dimana:

q_f : laju perpindahan panas konveksi yang menggunakan fin (Watt)

h : koefisien perpindahan panas konveksi

A_s : Luas permukaan *plate base* (m^2)

ΔT : Perbedaan temperatur (T_2-T_1)

Nilai laju perpindahan panas dengan fin (q_f) sendiri bisa didapatkan dengan melihat tabel berikut ini dimana kondisi perpindahan panas disesuaikan dengan keadaan A dengan mengetahui *tip condition* ($x=70$ mm):

Case	Tip Condition ($x = L$)	Temperature Distribution θ/θ_b	Fin Heat Transfer Rate q_f
A	Convection heat transfer: $h\theta(L) = -k d\theta/dx _{x=L}$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \quad (3.70)$	$M \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \quad (3.72)$
B	Adiabatic $d\theta/dx _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL} \quad (3.75)$	$M \tanh mL \quad (3.76)$
C	Prescribed temperature: $\theta(L) = \theta_L$	$\frac{(\theta_L/\theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL} \quad (3.77)$	$M \frac{(\cosh mL - \theta_L/\theta_b)}{\sinh mL} \quad (3.78)$
D	Infinite fin ($L \rightarrow \infty$): $\theta(L) = 0$	$e^{-mx} \quad (3.79)$	$M \quad (3.80)$

$$\theta \equiv T - T_\infty$$

$$\theta_b = \theta(0) = T_b - T_\infty$$

$$m^2 \equiv hP/kA_c$$

$$M \equiv \sqrt{hPkA_c}\theta_b$$

Gambar 2. 10 Distribusi temperature dan heat loss untuk sirip penampang yang seragam[14]

2.11 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi penulisan tugas akhir ini sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Variabel Penelitian	Hasil
1	Mukhron Mardolini (2016)	Analisis numerik pada karakteristik Perpindahan Panas <i>Pin Fin Ellips</i> pada sudu turbin gas dengan model turbulensi k-epsilon.	Berdasarkan Penelitian tersebut didapatkan hasil: Validasi dengan pendekatan CFD, menunjukkan penurunan tekanan dan koefisien perpindahan panas serupa dengan eksperimen meskipun untuk koefisien perpindahan panas setelah pin fin baris kedua tidak sama. [17].
2	Ramez Shaneediwan dkk (2018)	Menguji Karakteristik Perpindahan Panas dari bebrapa bentuk geometri dan material pin fin dengan menggunakan ANSYS	Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan: <ol style="list-style-type: none"> 1. Circular Pin Fin dan Pin Fin Persegi dengan bahan tembaga memiliki performa yang sama baiknya. 2. Aluminium menjadi material yang paling baik karena lebih mudah dalam manufakturnya dan nilai rasio perpindahan panasnya

			tidak jauh berbeda dengan tembaga [18]
3	Yustiaji Dewatoro (2010)	Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dengan Pin Ellips Susunan Sejajar pada Rectangular Channel	Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan: <ol style="list-style-type: none"> 1. Nilai Reynolds meningkat terhadap laju perpindahan panas 2. Faktor gesekan meningkat dibanding $Sy/D\pi$ 3. Unjuk kerja termal meningkat dengan penurunan $Sy/D\pi$[19]
4	Helen Riupassa dkk.(2017)	Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Pin Kerucut dengan Perbandingan dua jenis arah aliran	Berdasarkan penelitian tersebut dihasilkan: Aliran berlawanan arah lebih baik dari aliran searah dengan efisiensi sirip dingin dan sirip panas 57.91% dan nilai Log Mean Temperature Difference (LMTD) 13.88 °C[20]
5	Ivan Catton dkk (2013)	Analisis Numerik Heat Transfer antara Plate-Pin Fin dengan beberapa geometri surface pada pin	Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan: <ol style="list-style-type: none"> 1. Heat transfer surface bentuk persegi paling tinggi dibanding yang lain 2. Nilai efektifitas surface bentuk lingkaran paling tinggi dibanding surface lain[21]

6	Saravanan V (2013)	Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas tipe Pin Persegi dengan Variasi Susunan	Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan: 1. Nilai Pressure Drop pada susunan selang-seling memiliki nilai paling besar 2. Nilai termal resistansi semakin menurun ketika nilai Reynolds meningkat[22]
7	Syafrudin (2016)	Pengujian Perpindahan Panas Pin Elips dengan <i>RANS</i> <i>turbulence model</i>	Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan: 1. Koefisien perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh kondisi aliran udara disekitar sirip-sirip pin ellips 2. Kenaikan pada bilangan Reynolds meningkatkan kenaikan koefisien perpindahan panas[23]