



# EFEK SWIRL FAN TERHADAP PENDINGINAN EKSTRUDE FIN DENGAN VARIASI DAYA 95 - 120 WATT

Syaiful<sup>1)</sup>

## Abstract

The present, heat transfer on Component electronic system is very important. The topic in this paper is analysing the effect of heat transfer using swirl fan effect. This effect is produced by the air flow of a fan. The fan that caused swirl direction on air flow. The using of this method is to increase the turbulence effect on the fluid, so it will make the cooling rate for heat transfer raise. The result of this experiment indicate that the cooling rate of the heat sink use swirl fan effect is higher than it no swirl fan effect, and the flow of the low velocity provide good effect.

## LATAR BELAKANG MASALAH

Dalam dunia industri pemakaian komponen elektronik sekarang banyak dimanfaatkan dalam sistem produksi, pemakaian komponen elektronik yang secara terus menerus sering dapat menimbulkan permasalahan dalam alat tersebut Untuk mengatasi permasalahan tersebut diantaranya dengan memberikan sistem pendinginan pada komponen elektronik tersebut. Banyak ragam cara untuk melakukan proses pendinginan komponen tersebut, diantaranya dengan membuat bentuk geometri dari elemen penghantar panas atau yang biasa kita sebut dengan sirip sedemikian rupa sehingga mencapai pendinginan yang maksimum. Pada pengujian ini tidak lain bertujuan untuk melihat fenomena dari efek arah aliran fluida terhadap laju pendinginan komponen yang diberi sirip pendingin. Yaitu dengan cara memberikan *swirl fan* sehingga merubah arah aliran fluida yang digunakan untuk mendinginkan sirip. Pada pengujian ini fluida yang digunakan untuk mendinginkan komponen adalah udara, bentuk geometri sirip yang digunakan satu jenis serta pengambilan waktu *steady*  $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,07$  °C/mnt.

Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk melihat efek dari *swirl fan* terhadap laju pendinginan komponen. Yaitu dengan memvariasikan daya dan kecepatan dari pengujian, disini akan dilihat:

1. Pengaruh efek swirl fan pada rentang daya 95 – 120 Watt.
2. Pengaruh kecepatan terhadap laju pendinginan dan efek dari *swirl fan*.

## DASAR TEORI

Hampir semua alat termoelektrik pada proses pendinginan menggunakan *Heat Sink* (sirip pendingin) sebagai sistem pendingin. *Heat Sink* adalah alat yang digunakan untuk mendinginkan komponen dengan cara mempercepat perpindahan kalor dari sumber kalor. Dimana biasanya proses pendinginan dilakukan dengan cara mengalirkan fluida yang suhunya lebih rendah melaluinya. Laju fluida juga dapat mempengaruhi proses perpindahan kalor, dimana kecepatan yang tinggi akan menyebabkan gradien suhu yang besar pula.

Laju penurunan suhu pada sumber kalor juga dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran *heat sink*.

### 1. Perpindahan kalor

#### a. Perpindahan kalor konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi atau hantaran ini terjadi dikarenakan perpindahan energi dari partikel yang memiliki energi lebih tinggi ke partikel yang energinya lebih rendah dikarenakan adanya interaksi antara kedua partikel.

$$Q = kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

#### b. Perpindahan kalor konveksi

Perpindahan kalor konveksi terjadi antara fluida yang bergerak dengan permukaan suatu benda dimana temperatur keduanya berbeda.

- a. konveksi paksa
- b. konveksi alamiah

$$Q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2)$$

#### c. Perpindahan kalor radiasi

Radiasi termal ialah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena adanya perbedaan suhu dengan sekelilingnya.

$$Q = \sigma AT^d \quad (3)$$

### 2. Hambatan Termal

Hambatan termal adalah suatu ukuran kemampuan suatu bahan dengan panas yang dihantarkan, semakin kecil hambatan termal yang terjadi pada bahan tersebut maka kemampuan panas yang dipindahkan akan lebih baik dibandingkan dengan suatu bahan yang hambatan termalnya tinggi.

Persamaan untuk menghitung hambatan termal adalah :

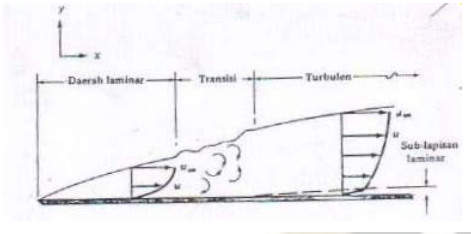
$$\theta = \frac{T_{case} - T_\infty}{P} \quad (4)$$

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

### 3. Aliran fluida

#### a. Aliran Viskos

Berbagai daerah aliran lapisan batas di atas plat rata dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 : Bagan menunjukan berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata<sup>[4]</sup>

Pada Gambar 1, dari tepi depan plat itu terbentuk suatu daerah dimana pengaruh gaya viskos (*Viscous force*) makin meningkat. Gaya viskos ini biasanya dihubungkan dengan tegangan geser.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (5)$$

Pada permulaan, pembentukan lapisan batas itu laminar, tetapi pada suatu jarak tertentu, bergantung dari medan aliran dan sifat-sifat fluida, gangguan-gangguan kecil pada aliran itu semakin besar. dan mulai terjadi proses transisi hingga aliran menjadi turbulen. Transisi dari aliran laminar menjadi turbulen pada aliran eksternal terjadi apabila

$$\frac{u_{\infty} x}{V} = \frac{\rho u_{\infty} x}{\mu} > 5 \times 10^5 \quad (6)$$

Pengelompokan ini biasa kita sebut sebagai angka Reynolds. Dalam situasi praktis nilai ini sangat bergantung pada kekasaran permukaan dan tingkat turbulensi aliran. Jika terdapat gangguan besar dalam aliran itu, transisi mungkin sudah mulai pada angka Reynold yang rendah.

Pada aliran fluida, struktur aliran dapat dibedakan menjadi dua yaitu aliran laminar dan aliran turbulen.

#### b. Aliran Laminer

Aliran laminar adalah aliran yang struktur alirannya memiliki karakteristik pergerakan yang halus dalam lamina (lapisan). Aliran laminar yang ada di dalam pipa memiliki batas angka Reynolds  $Re < 2300$  sedangkan pada plat  $Re < 5 \times 10^5$ . Hubungan kontinuitas untuk aliran satu dimensi dalam tabung ialah :

$$\dot{m} = \rho \cdot u_m \cdot A \quad (7)$$

Kecepatan massa didefinisikan sbagai berikut :

$$\text{Kecepatan massa} = G = \frac{\dot{m}}{A} = \rho \cdot u_m$$

dimana  $\dot{m}$  = Laju aliran massa  
 $u_m$  = Kecepatan rata-rata  
 $A$  = Luas penampang.

Sehingga angka Reynolds dapat dituliskan

$$Re_d = \frac{Gd}{\mu} \quad (8)$$

#### c. Aliran Turbulen

Yaitu aliran yang terdapat karakteristik pergerakan yang acak dari partikel fluida. Dalam aliran turbulen kecepatan pada suatu titik terjadi gerak acak berdasarkan waktu dalam jarak dan arah. Sehingga dapat didefinisikan kecepatan rata-rata pada arah x

$$U_x = \frac{1}{t} \int_0^t u_x dt \quad (9)$$

Aliran turbulen sering digambarkan dalam bentuk intensitas, yang mana diukur berdasarkan kecepatan fluktuasi terhadap kecepatan rata-rata.

Intensitas atau yang biasa disebut level turbulensi dinyatakan dengan persamaan

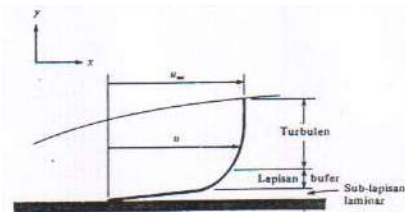
$$I = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(\bar{u}_x^2 + \bar{u}_y^2 + \bar{u}_z^2)}}{\bar{u}_x} \quad (10)$$

Dalam kasus tertentu yang disebut isotropic turbulen persamaan intensitas turbulen adalah

$$I = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}}}{\bar{u}_x} \quad (11)$$

#### 4. Lapisan batas turbulen

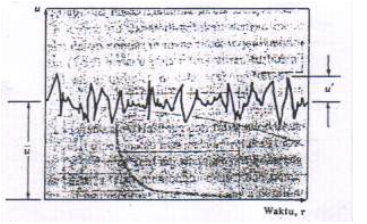
Di atas permukaan sebuah pelat terdapat lapisan batas, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2 .



Gambar 2 : Profil kecepatan dalam lapisan batas turbulen di atas pelat rata<sup>[4]</sup>

Lapisan yang sangat tipis dekat pelat itu bersifat laminar, dan disini aksi viskos dan perpindahan kalor berlangsung dalam keadaan seperti aliran

laminar. Pada saat transisi aliran laminar menjadi turbulen disebut lapisan buffer. Lebih jauh lagi, aliran menjadi sepenuhnya turbulen, mekanisme utama pertukaran kalor dan momentum pada lapisan ini melibatkan pergerakan makroskopik fluida yang bergerak kemana-mana. Mekanisme fisis perpindahan kalor dalam aliran turbulen sama juga dengan mekanisme aliran laminar, perbedaannya yang pokok ialah sifat-sifat pusaran yang terjadi pada aliran turbulen. Pada aliran turbulen terdapat fluktuasi dari kecepatan aliran rata-rata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar3 : Fluktuasi turbulen menurut waktu<sup>[4]</sup>

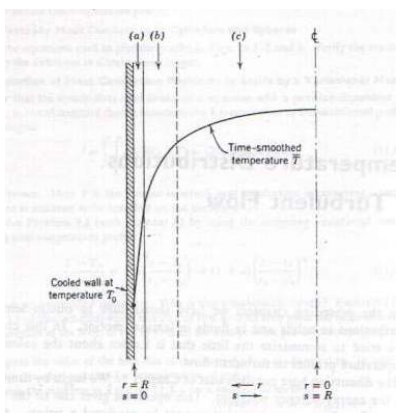
Dimana  $\bar{u}$  menunjukkan kecepatan rata-rata, dan  $u'$  adalah fluktuasi rata-rata, sehingga didapatkan persamaan untuk kecepatan seketika

$$u = \bar{u} + u' \quad (12)$$

## 5. Distribusi temperatur pada aliran turbulen

### a. Fluktuasi Temperatur dan Time Smoothed Temperatur

Di dalam Gambar 4 ditunjukkan daerah aliran yang terbentuk didalam pipa.



Gambar 4 : Distribusi temperatur pada pipa<sup>[4]</sup>

Di dalam inti turbulen energi kalor dipindahkan dengan sangat cepat dari satu tempat ke tempat yang lain berdasarkan *Frenzied eddy activity* (kegiatan pusaran yang acak). Ketika dekat permukaan dinding pusaran yang acak menjadi diabaikan. Keadaan ini sesuai untuk memvisuali sasikan daerah laminar dimana energi dipindahkan secara konduksi secara perlahan. Oleh karena itu terjadi penurunan temperatur yang besar di daerah

viscous. Di daerah buffer energi dipindahkan secara konduksi dan pusaran.

Gambar 4 adalah profil temperatur yang diukur dengan menggunakan termometer mercury yang dimasukan ke dalam aliran fluida. Dengan menggunakan alat ukur menyatakan bahwa pada titik dimana terjadi aliran turbulen temperatur (T) adalah berfluktuasi terhadap waktu, dimana fluktuasi temperatur terhadap waktu dilambangkan

$\bar{T}$ , sehingga dapat dituliskan dalam bentuk

$$T = \bar{T} + T' \quad (13)$$

Dimana  $T'$  adalah fluktuasi temperatur.

Berikut ini adalah persamaan energi :

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = - \left( \frac{\partial}{\partial x} \rho C_p v_x T + \frac{\partial}{\partial y} \rho C_p v_y T + \frac{\partial}{\partial z} \rho C_p v_z T \right) + k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \left[ 2 \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_x}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_x}{\partial y} \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + \dots \right] \quad (14)$$

Di dalam persamaan untuk persamaan energi<sup>[7]</sup> aliran turbulen T digantikan dengan  $\bar{T} + T'$ ,  $v_x$  dengan  $\bar{v}_x + v_x'$  maka persamaannya menjadi

$$\rho \bar{C} p \frac{\partial T}{\partial t} = - \left( \frac{\partial}{\partial x} \rho \bar{C} p \bar{v}_x \bar{T} + \frac{\partial}{\partial y} \rho \bar{C} p \bar{v}_y \bar{T} + \frac{\partial}{\partial z} \rho \bar{C} p \bar{v}_z \bar{T} \right) - \left( \frac{\partial}{\partial x} \rho \bar{C} p \bar{v}_x' T' + \frac{\partial}{\partial y} \rho \bar{C} p \bar{v}_y' T' + \frac{\partial}{\partial z} \rho \bar{C} p \bar{v}_z' T' \right) + k \left( \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial z^2} \right) + \mu \left[ 2 \left( \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} \frac{\partial \bar{v}_y}{\partial x} \right) + \dots \right] + \mu \left[ 2 \left( \frac{\partial v_x'}{\partial x} \frac{\partial v_x'}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_x'}{\partial x} \frac{\partial v_x'}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_x'}{\partial y} \frac{\partial v_y'}{\partial x} \right) + \dots \right] \quad (15)$$

## 6. Kekelalan Energi Volume Atur

Termodinamika dan perpindahan kalor adalah dua ilmu pengetahuan yang saling melengkapi. Contohnya, dalam setiap analisis perpindahan kalor, hukum termodinamika pertama memegang peranan yang sangat penting. Volume atur adalah suatu ruang yang dibatasi oleh permukaan atur (*control surface*) dimana energi dan bahan (material) akan lewat (mengalir). Sedangkan permukaan atur adalah geometri batas yang membentuk volume atur.

Persamaan kekekalan energi dapat dituliskan dengan :

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{st}}{dt} \cong \dot{E}_{st} \quad (16)$$

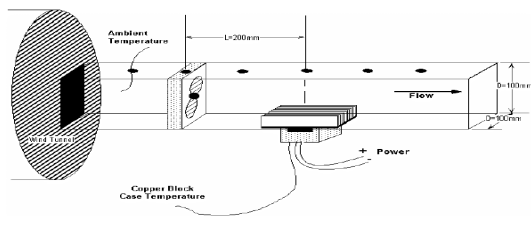
Jadi, jumlah energi yang masuk (*inflow energy*,  $E_{in}$ ) dan energi yang dibangkitkan (*generation energy*,  $E_g$ ) akan menambah jumlah energi dalam (energi yang tersimpan / *storage energy*,  $E_{st}$ ) dalam volume atur. Sedangkan energi keluar (*outflow energy*,  $E_{out}$ ) akan mengurangi energi dalam (*storage energy*,  $E_{st}$ )

$$\text{dimana } Est = \rho.c.V.\frac{dT}{dt} \quad (17)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian eksperimen ini dilakukan dengan cara sebagai berikut; fluida yang berasal dari *wind tunnel* yang dialirkan untuk mendinginkan sirip yang telah diberi elemen pemanas.

Pengujian eksperimen ini secara umum dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut :



Gambar 4 : Bentuk instalasi pengujian<sup>[1]</sup>

### 1. Instalasi Pengujian

Pada instalasi pengujian ini diperlukan alat-alat seperti berikut ini :

1. *Blower*
2. Fan
3. Elemen Pemanas
4. Saluran udara
5. Sirip
6. Alat ukur

Untuk prosedur pemasangan swirl fan adalah sebagai berikut:

1. Jarak fan dari sirip yang akan didinginkan sejauh 5 cm
2. Jarak outlet sejauh 30 cm dari elemen pemanas
3. Sensor suhu ditempatkan pada elemen pemanas, pada inlet dan pada outlet.
4. Sensor kecepatan udara di pasang pada inlet.

### 2. Prosedur pengujian

Setelah instalasi sudah terpasang pengujian mulai dilakukan dengan menempatkan 1 buah sensor untuk mengukur aliran udara, 2 buah sensor untuk mengukur temperatur. Dari ketiga sensor didapatkan data yang diperlukan.

Prosedur yang dilakukan untuk pengujian ini adalah:

1. Daya diberikan terhadap elemen pemanas dengan memvariasikan daya 95, 100, 105, 110, 115,120 Watt yang terukur pada *Multipower Meter*.

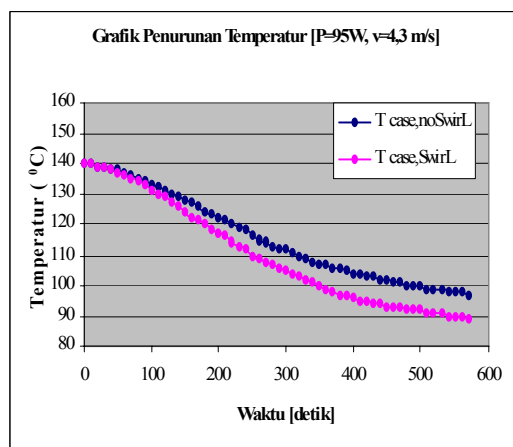
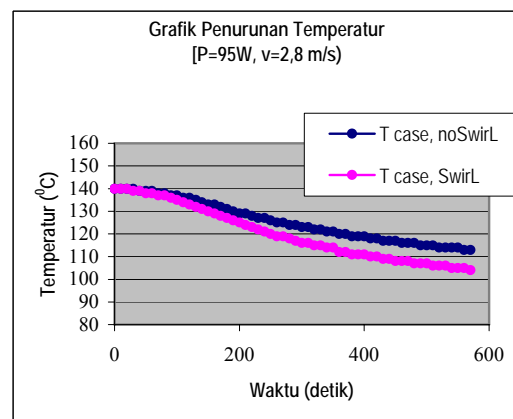
2. Temperatur pada elemen pemanas disteadykan sampai kondisi *steady* ( $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,07 \text{ }^\circ\text{C/min}$ ).
3. *Blower* dinyalakan dengan kecepatan yang ditentukan dengan memvariasikan kecepatan sebesar 2.8, 4.3, 6.6 m/s.yang terukur pada *Hotwire*. Yaitu dengan cara mengatur laju aliran yang masuk pada *blower*.
4. Laju penurunan Temperatur dicatat setiap 10 detik selama 10 menit setelah *Blower* dinyalakan.
5. Pengambilan data untuk pemakaian *swirl fan* dan yang tidak memakai *swirl fan* pada setiap daya dan kecepatan.

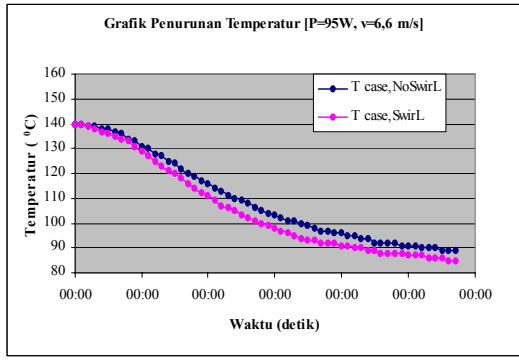
## ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

### 1. Grafik penurunan suhu terhadap waktu

Grafik penurunan temperatur terhadap waktu, yang langsung dibandingkan antara dengan menggunakan *swirl fan* dan yang tidak untuk daya 95 watt dapat dilihat pada Gambar 5 ( karena kecenderungan sama daya yang kita pakai 95 watt)

#### Daya 95 Watt



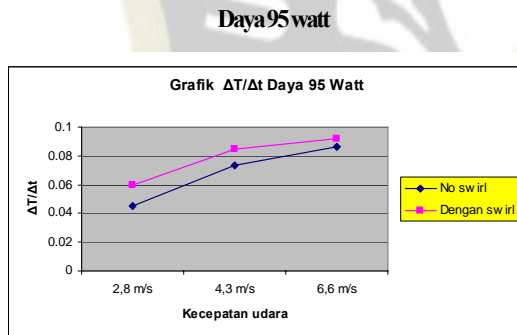


Gambar 5 : Grafik penurunan suhu terhadap waktu pada Daya 95 Watt

Nilai perubahan Temperatur *case* terhadap waktu ( $\Delta T/\Delta t$ ). Hasil dari penurunan suhu ( $\Delta T/\Delta t$ ) yang tercatat pada case dari awal suhu steady hingga selama 10 menit dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{T_{(600)} - T_{(0)}}{600}$$

nilai perubahan temperatur terhadap waktu antara menggunakan *Swirl fan* dan tidak menggunakan *Swirl fan*. sebagai contoh grafik pada daya 95 watt.



Gambar 6 : Grafik nilai penurunan suhu terhadap waktu Daya 95 Watt

## 2. Energi yang tersimpan (Est)

Dimana  $Est = \rho \cdot c \cdot V \frac{dT}{dt}$

Untuk  $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$

$c = 502,2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

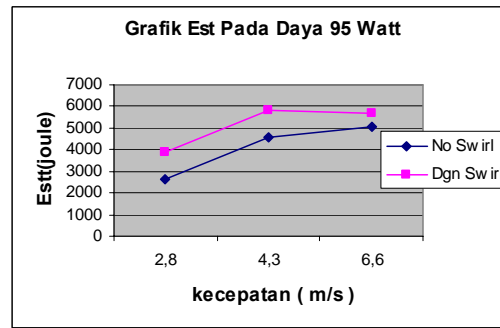
$V = 0,12 \text{ m} \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 0,002 \text{ m}$   
 $= 1,92 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

$\frac{dT}{dt}$  = didapat dari penurunan persamaan exponent pada grafik penurunan suhu terhadap waktu

$T = a \cdot e^{-bt}$

sehingga  $\frac{dT}{dt} = -a \cdot b \cdot e^{-bt}$

## Daya 95 Watt



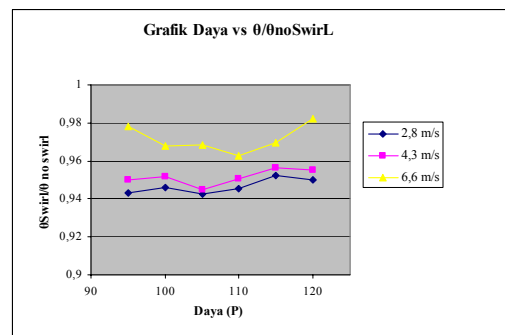
Gambar 7 : Grafik Est pada daya 95 watt

## 3. Hambatan Termal

Dari persamaan sebelumnya, maka didapatkan data sebagai berikut :

$$\theta = \frac{T_{case} - T_{\infty}}{P}$$

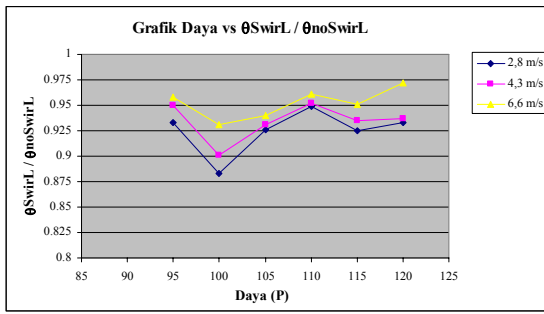
Untuk nilai perbandingan hambatan termal antara yang menggunakan efek *swirl* dan tidak, dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 : Grafik perbandingan resistensi termal

Dari Gambar 8 dapat diperlihatkan perbandingan antara yang menggunakan *Swirl fan* dan tanpa menggunakan *swirl fan* dimana kecepatan udara 2,8 m/s nilai perbandingan resistensi termalnya lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan 4,3 dan 6,8 m/s, dimana pada kecepatan 2,8 m/s rata-rata perbandingan resistensi termal 0,946, dan pada kecepatan 4,3 m/s sebesar 0,95, sedangkan pada kecepatan 6,8 m/s sebesar 0,969. Dapat diartikan bahwa semakin tinggi laju aliran udara semakin kecil nilai perbandingan resistensi termal dari penurunan suhu tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan yang lebih rendah perbedaan resistensi termalnya lebih besar, sehingga pada kecepatan yang lebih rendah penurunan suhu dengan menggunakan *swirl fan* penurunan suhunya lebih tinggi

Data hasil pengujian dengan menggunakan *cross cut fin*.



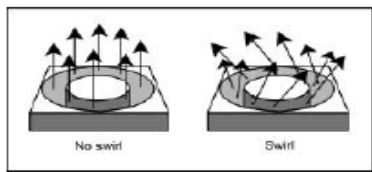
Gambar 9 : Grafik perbandingan Resistensi thermal perdaya *cross cut*.

#### 4. Analisa Grafik Gambar 8 dan 9

Dari Gambar 8 dan Gambar 9, pada penggunaan sirip yang menggunakan *cross cut* perbandingan resistensi termalnya lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan *cross cut* keefektifitasan swirlnya lebih besar dibanding dengan menggunakan sirip *ekstrude*. Hal ini disebabkan pada penggunaan sirip *cross cut* memiliki luas penampang yang lebih besar dibanding dengan menggunakan sirip *Extrude*, sehingga semakin besar luas penampang yang tersentuh ( dilalui aliran udara ), semakin besar energi yang dibawa oleh udara ( energi yang dilepas ) karena semakin banyak panas yang dibawa oleh partikel udara

#### 5. Analisa dan Pembahasan

Dari Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa laju pendinginan *case* yang menggunakan *swirl fan* lebih cepat dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan *swirl fan*. Dalam aliran udara *no swirl*, bentuk aliran tidak mengalami perubahan arah aliran cenderung tegak lurus. Sehingga dalam proses pendinginan, sirip hanya dilalui daerah bawah aliran. Sehingga proses pendinginan hanya daerah yang melalui sirip yang lebih efisien untuk pendinginan. Sedangkan aliran fluida yang tidak melalui sirip, panas dari sirip cenderung tidak dibawa ( tanpa melakukan pendinginan ).

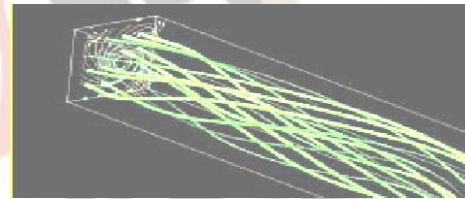


Gambar 9 : Arah aliran udara<sup>[2]</sup>

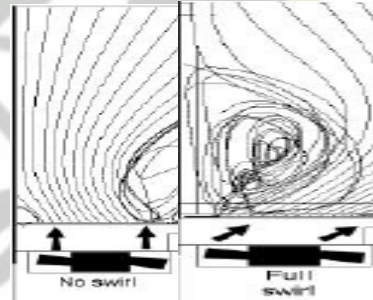
Sedangkan dengan menggunakan *swirl fan*, dimana aliran udara yang melalui *swirl fan* diputar ( diubah arah aliran ) sehingga sirip hampir dilewati oleh seluruh aliran udara. Sehingga hal tersebut mempercepat laju pendinginan elemen pemanas (*Case*). semakin banyak partikel udara yang mengenai

daerah sirip, semakin banyak panas yang dibawa oleh partikel-partikel udara sehingga semakin besar panas yang dilepaskan oleh sirip.

Selain itu proses pendinginan yang menggunakan *swirl fan* mengalami proses pendinginan yang lebih merata dibandingkan dengan tanpa swirl. Hal tersebut dikarenakan udara yang dialirkan tanpa menggunakan swirl cenderung lurus sehingga laju pendinginan pada bagian belakang sirip tidak mengalami proses pendinginan secepat pada bagian depan, karena panas yang dibawa partikel-partikel udara pada bagian belakang sirip, sudah ada panas yang dibawa dari bagian depan sirip, sehingga sirip pada bagian belakang mengalami proses pendinginan yang lebih lambat. Sedangkan dengan menggunakan swirl proses pendinginan akan lebih merata, udara yang diputar oleh swirl akan mengenai daerah sirip secara menyeluruh, panas secara bergantian dibawa oleh partikel-partikel udara yang melewati sirip. Sehingga laju pendinginan akan cenderung lebih cepat. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 : Bentuk arah aliran udara melalui *swirl fan*<sup>[2]</sup>.



Gambar 11 : Bentuk arah aliran udara<sup>[2]</sup>

Dari Gambar 10 dan 11 dapat dinyatakan bahwa aliran yang dihasilkan oleh *swirl fan* meningkatkan tingkat turbulensi atau keacakan molekul di atas permukaan sirip. Jika tingkat turbulensi di atas permukaan sirip semakin besar maka koefisien konveksi akan meningkat. Pernyataan ini didukung oleh Temmerman dimana dia menyatakan “*For the component near the fans, flow swirl enhances heat transfer locally*” ( Untuk komponen yang berada di dekat dengan *fan*, aliran *swirl* meningkatkan perpindahan kalor lokal)<sup>[2]</sup> Dalam kesimpulannya Temmerman juga menyatakan bahwa *swirl fan* mengakibatkan turbulensi di dekat kipas sehingga meningkatkan koefisien perpindahan kalor.

## KESIMPULAN

Nilai laju penurunan temperatur hasil pengujian dengan pemakaian *swirl fan* pada rentang daya input 95 s/d 120 Watt dan variasi kecepatan 2,8; 4,3 dan 6,6 m/s lebih besar daripada laju penurunan temperatur hasil pengujian tanpa *swirl fan*. Pada pemakaian *swirl fan* berakibat kenaikan intensitas turbulensi di dekat *fan* sehingga meningkatkan laju perpindahan kalor. Pada rentang variasi kecepatan udara pendingin yang diberikan (2,8; 4,3 dan 6,6 m/s) diketahui bahwa semakin kecil kecepatan udara pendingin maka pengaruh efek *swirl fan* terhadap laju perpindahan kalor dan penurunan energi dalam akan semakin besar. Nilai rata-rata perbandingan hambatan termal proses pendinginan dengan *crosscut fin* pada rentang daya input 95 s/d 120 Watt dan variasi kecepatan 2,8; 4,3 dan 6,6 m/s mempunyai harga yang lebih kecil dibandingkan dengan proses pendinginan dengan *ekstruded fin*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ernest Thurlow, Eric Prather and Vivek Mansingh, *Fan Swirl Effects on Cooling Heat Sinks and Electronic Packages*, paper, Santa Clara
2. Tony Kordiban, *Fan swirl and Planar Resistance Don't Mix*, paper, Tellabs
3. Fox, Robert W and Alan T. Mc Donald, *Introduction to Fluid Mechanics, fourth edition, SI Version*, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1994.
4. J.P. Holman, *Perpindahan Kalor edisi ke enam*, Erlangga, 1988.
5. Kreith, F, *Prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta, 1986.
6. R.Byron Bird, Warren E.Stewart, Edwin Lightfoot, *Transport Phenomena*, John Willey & Son, 1960.
7. Charles O.Smith, *The Science Of Engineering Materials*, third edition, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
8. Incopera, *Fundamental of Heat transfer*
9. C.O. Bennet, J.E. Myers, *Momentum, Heat and Mass Transfer*, McGraw-Hill, Singapore, 1962.

## NOMENKLATUR

A	=	Luas (m <sup>2</sup> )
c	=	Kalor jenis (J/kg°C)
C <sub>p</sub>	=	Kalor jenis (J/kg°C)
C	=	Kapasitas kalor (Joule/°C)
$\dot{E}_g$	=	Laju energi yang dibangkitkan (Watt)
$\dot{E}_{out}$	=	Laju energi yang dikeluarkan (Watt)
$\dot{E}_{st}$	=	Laju energi yang disimpan (Watt)
h	=	Koefisien konveksi (W/m <sup>2</sup> °C)
k	=	Konduktivitas termal bahan (W/m°C)
m	=	massa (kg)
P	=	Daya listrik (Watt)
q <sub>k</sub>	=	Laju perpindahan kalor konduksi (watt)
q <sub>h</sub>	=	Laju perpindahan kalor konveksi (watt)
q <sub>r</sub>	=	Laju perpindahan kalor radiasi (Watt)
R <sub>th</sub>	=	Hambatan thermal (°Cm <sup>2</sup> /W)
T <sub>w</sub>	=	Temperatur permukaan benda (°C)
T <sub>∞</sub>	=	Temperatur udara masuk ( ambient )(°C)
T <sub>case</sub>	=	Temperatur pada elemen pemanas (°C)
T <sub>ref</sub>	=	Temperatur referensi (°C)
$\bar{T}$	=	Temperatur rata-rata fluktuasi (°C)
T'	=	Temperatur fluktuasi (°C)
u	=	Kecepatan (m/s)
u <sub>∞</sub>	=	Kecepatan udara diatas permukaan (m/s)
$\bar{u}$	=	Kecepatan rata-rata (m/s)
u'	=	Kecepatan fluktuasi (m/s)
x	=	jarak perpindahan kalor pada arah x (m)
v <sub>x</sub>	=	Kecepatan arah x (m/s)
v <sub>y</sub>	=	Kecepatan arah y (m/s)
v <sub>z</sub>	=	Kecepatan arah z (m/s)
V	=	Volume benda (m <sup>3</sup> )
σ	=	Konstanta stefan-Boltzmann (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
ρ	=	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )
τ	=	Tegangan geser
μ	=	Viskositas dinamik
θ	=	Hambatan t