

## EFISIENSI SIRIP BERBENTUK SILINDER

PK Purwadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar - Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma

### Keywords :

Finite difference method

Fin

Efficiency

Unsteady state

Explicit

### Abstract :

To cool the processor, when the computer is running, usually processor fitted with fins. With the fin, heat from the processor can be transferred to the air around the fin become larger. This study aimed to obtain the relationship between (1)  $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5})$  with an efficiency  $\eta$  (2)  $L_c^{3/2} (hk/Am)^{0,5}$  with an efficiency  $\eta$  (3)  $L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}$  with an efficiency  $\eta$  (4)  $L_c^{5/4} (((3,14/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$  with an efficiency  $\eta$  and (5)  $(L_c^{3/2})((3,14/S)(h/k))^{0,5}$  with efficiency  $\eta$ .

In this study, geometry of fin is cylinder. Material of fin is metal, long of fin is  $L=L_c$ , and diameter of fin is  $D$ . All the surfaces of fin contact with the fluid. The initial temperature of fin is uniform,  $T=T_i$ . Then fin is placed in the new environment. Temperature of the new environment is  $T_\infty$ , coefficient of convection heat transfer is  $h$ . Temperature of fin base is  $T_b$ . Value of  $T_\infty$ ,  $T_b$  and  $h$  are maintained at a fixed value from time to time. In this study, value of  $T_b$  is equal to  $T_i$ . The density  $\rho$  and specific heat  $c$  of fin material is considered uniform and unchanging, while value of thermal conductivity  $k$  varies with temperature or  $k=k(T)$ . Conduction heat flow that goes on in the fin is assumed to take place in one direction, perpendicular to base of the fin or in the direction  $x$ . The study was conducted with the sequence of steps : (1) calculating the temperature distribution of the fin on the unsteady state, (2) calculating the actual heat flow rate released by the fin on the unsteady state, (3) calculating the heat flow rate released by fin if all the surfaces of fin which make contact with the fluid, have the same temperature with a temperature of fin base, (4) calculating the value  $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5})$ ,  $L_c^{3/2}(hk/Am)^{0,5}$ ,  $L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}$ ,  $L_c^{5/4}(((3,14/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$ ,  $(L_c^{3/2})((3,14/S)(h/k))^{0,5}$  and fin efficiency  $\eta$  on the unsteady state, (5) drawing graphs. Calculation of temperature distribution on fin on unsteady state was done by numerical simulation with finite difference method. Finite difference method used is an explicit method.

The result of study, show that (1) If the value of  $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5})$ ;  $L_c^{3/2}(hk/Am)^{0,5}$ ;  $L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}$ ;  $L_c^{5/4}(((3,14/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$  and  $(L_c^{3/2})((3,14/S)(h/k))^{0,5}$  getting bigger, then the value of fin efficiency  $\eta$  decreases. (2) if the value of convection heat transfer coefficient  $h$  getting bigger, then the value of fin efficiency  $\eta$  smaller (3) For steady-state, if the value of thermal conductivity of materials increases greater then the value of fin efficiency  $\eta$  increases.

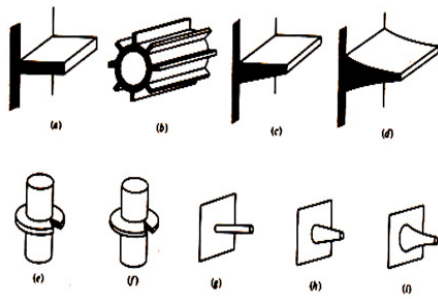
### PENDAHULUAN

Untuk mempercepat proses pembuangan kalor, umumnya benda dipasang sirip. Seperti pada prosesor komputer, silinder ruang-bakar motor bakar, peralatan elektronika, radiator, penukar kalor, dll. Untuk mendapatkan pembuangan kalor yang besar, sirip yang dipasang sebaiknya mempunyai efisiensi sirip yang tinggi. Karena semakin tinggi efisiensi sirip semakin besar laju aliran kalor yang mampu dibuang sirip. Karena efisiensi adalah perbandingan antara kalor sesungguhnya dilepas sirip dengan kalor yang dilepaskan seandainya seluruh muka sirip mempunyai suhu yang sama dengan suhu dasar sirip.

Untuk keadaan tunak, beberapa buku acuan telah memuat grafik hubungan antara  $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5})$  dengan efisiensi sirip

(Incropera, 1985),  $L_c^{3/2}(hk/Am)^{0,5}$  dengan efisiensi sirip (Holman, 1995), hubungan antara  $L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}$ ,  $L_c^{5/4}(((3,14/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$  dan  $(L_c^{3/2})((3,14/S)(h/k))^{0,5}$  dengan efisiensi sirip (Schneider, 1957). Kajian analitis secara lengkap dengan bentuk sirip yang lain pada keadaan tunak juga telah dilakukan (Schneider, 1957). Timbul permasalahan, bagaimana untuk keadaan tak tunak. Inilah salah satu latar belakang kenapa penelitian ini dilakukan.

Ada banyak bentuk sirip yang umum dipergunakan didalam proses pendinginan, seperti tersaji pada Gambar 1 (Holman, 1995). Pada penelitian dasar ini, sirip yang dipilih berbentuk silinder dan tinjauan dilakukan pada keadaan tak tunak.



Gambar 1. Berbagai bentuk sirip

Beberapa penelitian tentang sirip pada keadaan tak tunak juga telah banyak dilakukan. Untuk bentuk sirip sirkum ferensial (Supranto, 1991), bentuk sirip piramid (Bintoro Adi dan Purwadi, P.K, 2006), bentuk sirip piramid terpotong (Paskalianus dan Purwadi, P.K, 2006), bentuk sirip lurus berpenampang lingkaran, (Purwadi, 2007), bentuk sirip longitudinal profil segitiga (Purwadi, 2008). Dari semua penelitian tersebut belum ada yang menampilkan grafik hubungan antara  $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5}$  dengan efisiensi,  $L_c^{3/2}(h/kAm)^{0,5}$  dengan efisiensi, antara  $L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}$  dengan efisiensi antara  $L_c^{5/4}(((3,14/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$  dengan efisiensi dan antara  $(L_c^{3/2})((3,14/S)(h/k))^{0,5}$  dengan efisiensi pada keadaan tak tunak.

**Perumusan Masalah**

Mula mula sirip mempunyai suhu merata  $T_i$ , secara tiba-tiba sirip dikondisikan pada lingkungan fluida bersuhu  $T_\infty$  (pada penelitian ini nilainya dipilih lebih rendah dari suhu awal  $T_i$ ) dan dengan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi sebesar  $h$ . Suhu dasar sirip dipertahankan tetap dari waktu ke waktu sebesar  $T_b$  (pada penelitian ini, nilainya sama dengan suhu awal  $T_i$ ). Dengan berjalannya waktu, sirip akan melepaskan kalor ke fluida sekitar melalui seluruh permukaan sirip yang bersentuhan dengan fluida sampai akhirnya sirip mencapai keadaan tunak. Pertanyaannya, bagaimanakah (1) hubungan antara  $L_c+0,25D)((2h/(kD))$  dengan efisiensi, (2) hubungan antara  $L_c^{3/2}(h/kAm)^{0,5}$  dengan efisiensi, (3) hubungan antara  $L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}$  dengan efisiensi, (4) hubungan antara  $L_c^{5/4}(((\pi/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$  dengan efisiensi, dan (5) hubungan antara  $L_c^{3/2}((\pi/S)(h/k))^{0,5}$  dengan efisiensi.

**a. Model Matematik**

Model matematik yang dipergunakan untuk mendapatkan distribusi suhu pada sirip pada keadaan tak tunak, dinyatakan dengan persamaan diferensial parsial (1). Berlaku pada  $0 < x < L$ , untuk  $t > 0$  :

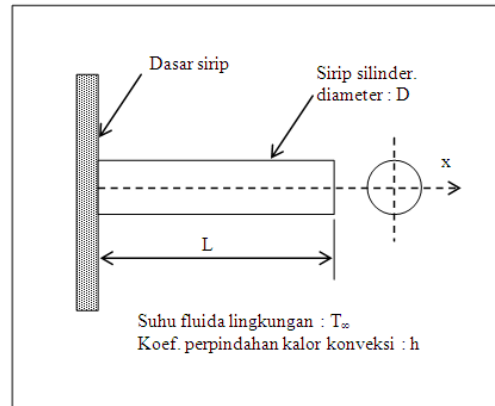
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k(T) A_c(x) \frac{\partial T}{\partial x} \right) - h \frac{dA_s}{dx} (T - T_\infty) = \rho c \frac{dV}{dx} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{1}$$

Pada Persamaan (1) :

- $T$  : Suhu pada posisi  $x$ , saat  $t$ , °C
- $T_\infty$  : Suhu fluida di sekitar sirip, °C
- $A_c(x)$  : luas penampang di posisi  $x$ ,  $m^2$
- $h$  : Koefisien perpindahan kalor konveksi,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ .
- $dA_s/dx$  : perubahan luas selimut terhadap perubahan jarak  $x$ ,  $m^2/m$ .
- $\rho$  : massa jenis bahan sirip,  $kg/m^3$
- $c$  : Kalor jenis bahan sirip,  $J/kg \cdot ^\circ C$ .
- $x$  : Menyatakan posisi didirip yang ditinjau dari dasar sirip, m
- $T$  : menyatakan waktu, dimulai dari saat awal, detik.
- $L$  : panjang sirip, m
- $k(T)$  : konduktivitas termal bahan sirip, fungsi suhu,  $W/m \cdot ^\circ C$ .
- $dV/dx$  : Perubahan volume terhadap perubahan posisi,  $m^3/m$ .

**b. Bentuk Geometri**

Sirip yang dipergunakan di dalam penelitian ini berbentuk silinder, panjang  $L$  dengan diameter  $d$ , seperti tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Geometri sirip benda uji

**c. Kondisi Awal**

Suhu awal sirip merata/seragam atau tidak merupakan fungsi posisi, sebesar  $T_i$ . Secara matematik dinyatakan dengan Persamaan (2).

$$T(0, t) = T_i \quad , 0 \leq x \leq L, t=0 \tag{2}$$

**d. Kondisi Batas**

Ada 2 kondisi batas, kondisi pada dasar sirip dan kondisi pada ujung sirip. Suhu dasar sirip dipertahankan tetap pada suhu  $T_b$ , sedangkan kondisi ujung sirip melakukan proses perpindahan kalor secara konveksi dengan fluida di sekitar sirip. Seluruh permukaan sirip juga melakukan proses

perpindahan kalor secara konveksi dengan fluida di sekitar sirip.

Kondisi dasar sirip :

$$T(0, t) = T_b \quad x=0, t>0 \quad (3)$$

Kondisi ujung sirip :

$$h \cdot A_s (T_\infty - T_i) + k \cdot A_c \frac{\partial T}{\partial x} = \rho \cdot c \cdot V \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

untuk  $x=L, t>0$  (4)

**e. Asumsi**

- Nilai koefisien perpindahan kalor konveksi h bersifat tetap dan merata
- Massa jenis bahan sirip  $\rho$  dan kalor jenis bahan sirip  $c$  bersifat tetap dan merata.
- Aliran kalor konduksi berlangsung hanya dalam arah x atau tegak lurus dasar sirip.
- Suhu fluida  $T_\infty$  bersifat tetap dan merata.
- Perpindahan kalor lain yang menyertai seperti adanya radiasi diabaikan.
- Tidak ada pembangkitan energi di sirip.
- Perubahan bentuk dan volume diabaikan.

**DASAR TEORI**

**a. Konduktivitas Termal Bahan Sirip**

Pada kenyataannya nilai konduktivitas termal bahan bersifat tidak tetap atau berubah terhadap perubahan suhu,  $k = k(T)$ . Nilai  $k = k(T)$  beberapa logam disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai  $k = k(T)$  bahan sirip

Logam	$\rho, \text{kg/m}^3$	suhu, $^\circ\text{C}$
Tembaga, 99,9-98%	8954	0-600
Besi (armc), 99,92%	7897	0-800
Baja, 99,2%Fe; 0,2C	7833	0-999
Alumunium, 99,75%	2707	0-800

$k = k(T), \text{W/m}^\circ\text{C}$
$k = 0,00007T^2 - 0,1048T + 391,37$ (tembaga)
$k = 0,00004T^2 - 0,0848T + 75,644$ (besi)
$k = -0,00002T^2 - 0,0454T + 55,786$ (baja)
$k = -0,0004T^2 + 0,0371T + 205,44$ (alumunium)

**b. Distribusi Suhu**

Pencarian distribusi suhu pada sirip (keadaan tak tunak) dilakukan secara simulasi numerik dengan menggunakan metode beda-hingga (*finite difference*) cara eksplisit.

Caranya, sirip dibagi menjadi banyak volume kontrol, diambil sebanyak m. Ada 3 persamaan numerik utama yang dipergunakan untuk menghitung distribusi suhu pada keadaan tak tunak, yaitu persamaan untuk menghitung suhu volume kontrol yang terletak (a) di dasar sirip, (b) di antara dasar dan ujung sirip, dan (c) di ujung sirip. Tebal volume kontrol di dasar sirip sama dengan tebal volume kontrol di ujung sirip, sebesar :  $0,5\Delta x$ ,

sedangkan tebal volume kontrol di antara dasar dan ujung sirip sebesar  $\Delta x$ .

Untuk  $i=1$  (terletak di dasar sirip):

$$T(0, t) = T_0^{n+1} = T_b \quad (5)$$

Untuk  $i=2,3,4,\dots,m-2, m-1$  (terletak di antara dasar dan ujung sirip) :

$$T_i^{n+1} = \frac{\Delta t}{\rho c V_i \Delta x} (A1) + \left( 1 - \frac{\Delta t}{\rho c V_i \Delta x} (A2) \right) T_i^n \quad (6)$$

Pada Persamaan (6) :

$$A1 = k_{i-0,5}^n A_{c_{i-0,5}} T_{i-1}^n + k_{i+0,5}^n A_{c_{i+0,5}} T_{i+1}^n + h \Delta x A_{s,i} T_\infty^n \quad (7)$$

$$A2 = k_{i-0,5}^n A_{c_{i-0,5}} + k_{i+0,5}^n A_{c_{i+0,5}} + h \Delta x A_{s,i} \quad (8)$$

Keterangan :

- $A_{c_{i-0,5}}$  : luas penampang di sebelah kiri dari volume kontrol, atau di  $i-0,5, \text{m}^2$
- $A_{s_i}$  : luas selimut dari volume kontrol di posisi  $i, \text{m}^2$
- $V_i$  : volume dari volume kontrol pada posisi  $i, \text{m}^3$
- $k_{i-0,5}^n$  : nilai konduktivitas termal bahan di posisi  $i-0,5$  saat  $t = n, \text{W/m}^\circ\text{C}$ .
- $k_{i+0,5}^n$  : nilai konduktivitas termal bahan di posisi  $i+0,5$  saat  $t = n, \text{W/m}^\circ\text{C}$ .
- $T_i^{n+1}$  : suhu volume kontrol/node di posisi  $i$  saat  $n+1$
- $T_\infty^n$  : suhu fluida di sekitar sirip pada saat  $n+1, ^\circ\text{C}$ .
- $T_{i+1}^n$  : Suhu pada posisi  $i+1$  saat  $t = n, ^\circ\text{C}$
- $T_b$  : Suhu dasar sirip,  $^\circ\text{C}$
- $\Delta x$  : jarak antar pusat dari volume kontrol,  $\text{m}$

Syarat stabilitas 1 :

Persamaan (6) mensyaratkan pengambilan selang waktu  $\Delta t$  harus memenuhi :

$$\Delta t \leq \frac{\rho c V_i \Delta x}{k_{i-0,5}^n A_{c_{i-0,5}} + k_{i+0,5}^n A_{c_{i+0,5}} + h \Delta x A_{s,i}} \quad (9)$$

Untuk  $i=m$  (terletak di ujung sirip) :

$$T_i^{n+1} = \frac{\Delta t}{\rho c V_i \Delta x} (A3) + \left( 1 - \frac{\Delta t}{\rho c V_i \Delta x} (A4) \right) T_i^n \quad (10)$$

$$A3 = k_{i-0,5}^n A_{c_{i-0,5}} T_{i-1}^n + h \Delta x A_{s,i} T_\infty^n \quad (11)$$

$$A4 = k_{i-0,5}^n A_{c_{i-0,5}} + h \Delta x (A_{c_i} + A_{s,i}) \quad (12)$$

Syarat stabilitas 2 :

Persamaan (10) mensyaratkan pengambilan selang waktu  $\Delta t$  harus memenuhi :

$$\Delta t \leq \frac{\rho c V_i \Delta x}{k_{i-0,5}^{n+1} A_{c,i-0,5} + h \Delta x A_{s,i}} \quad (13)$$

### c. Kalor Sesungguhnya yang Dilepas Sirip

Kalor sesungguhnya yang dilepas sirip  $Q_{act}^{n+1}$ , dihitung dengan Persamaan (14).

$$Q_{act}^{n+1} = \sum_{i=1}^m h A_{s,i} (T_i^{n+1} - T_{\infty}^{n+1}) \quad (14)$$

Pada Persamaan (14) :

- $Q_{act}^{n+1}$  : kalor yang sesungguhnya dilepas sirip pada saat n+1, watt  
 H : koefisien perpindahan kalor konveksi fluida di sekitar sirip, W/m<sup>2</sup>°C.  
 $T_{\infty}^{n+1}$  : Suhu fluida sekitar sirip saat n+1, °C  
 M : jumlah volume kontrol atau jumlah node  
 I : menyatakan posisi dari volume kontrol atau node yang ditinjau.

### d. Kalor yang Dilepas Jika Suhu Seluruh Permukaan Sirip Sama dengan Suhu Dasar Sirip

Laju aliran kalor yang dilepas sirip jika seluruh permukaan sirip bersuhu sama dengan suhu dasar sirip  $Q_{T=T_b}^{n+1}$ , dinyatakan dengan Persamaan (15). Variabel  $A_c$  adalah luas dasar penampang sirip.

$$Q_{T=T_b}^{n+1} = h A_s (T_b^{n+1} - T_{\infty}^{n+1}) \quad (15)$$

### e. Efisiensi Sirip

Efisiensi sirip  $\eta$  merupakan perbandingan antara kalor yang dilepas sirip sesungguhnya dengan kalor yang dilepas jika seluruh permukaan sirip seandainya bersuhu sama dengan suhu dasar sirip, dinyatakan dengan Persamaan (16).

$$\eta = \frac{Q_{act}^{n+1}}{Q_{T=T_b}^{n+1}} = \frac{\sum_{i=1}^m h A_{s,i} (T_i^{n+1} - T_{\infty}^{n+1})}{h A_s (T_b^{n+1} - T_{\infty}^{n+1})} \times 100\% \quad (16)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### a. Benda Uji dan Kondisinya

Bentuk sirip seperti pada Gambar 2. Pada penelitian ini dipergunakan  $L=L_c=5$ cm. Suhu awal sirip  $T_i=100^\circ\text{C}$ , suhu fluida  $T_{\infty}=30^\circ\text{C}$  dan suhu dasar sirip  $T_b=100^\circ\text{C}$ . Bahan sirip dari aluminium.

### b. Distribusi Suhu

Pencarian distribusi pada keadaan tak tunak dilakukan dengan menggunakan metode beda-hingga cara eksplisit. Pengambilan jumlah node  $m = 50$ . Jarak antar node (tebal volume kontrol)  $\Delta x = L/(m-1) = 0,001020408$  m dan selang waktu  $\Delta t = 0,004$  detik.

### c. Perhitungan Efisiensi, $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5}, L_c^{3/2}(h/(kAm))^{0,5}, L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}, L_c^{5/4}(((\pi/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$ dan $(L_c^{3/2}((\pi/S)(h/k))^{0,5}$

Langkah perhitungan untuk mendapatkan hubungan efisiensi dengan  $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5}, L_c^{3/2}(h/(kAm))^{0,5}, L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}, L_c^{5/4}(((\pi/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$ , dan  $(L_c^{3/2}((\pi/S)(h/k))^{0,5}$  pada keadaan tak tunak : (1) menghitung suhu disetiap node atau volume kontrol, (2) menghitung laju aliran kalor yang dilepas seluruh sirip, (3) menghitung laju aliran kalor yang dilepas sirip jika seluruh permukaan sirip sama dengan suhu dasar sirip, (4) menghitung efisiensi  $\eta$ ,  $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5}, L_c^{3/2}(h/(kAm))^{0,5}, L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}, L_c^{5/4}(((\pi/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$  dan  $(L_c^{3/2}((\pi/S)(h/k))^{0,5}$  dan (5) penggambaran grafik hubungan  $(L_c + 0,25 D) ((2 h / (k D))^{0,5}, L_c^{3/2}(h/(kAm))^{0,5}, L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}, L_c^{5/4}(((\pi/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$  dan  $(L_c^{3/2}((\pi/S)(h/k))^{0,5}$  dengan efisiensi. Dalam hal ini, nilai D adalah diameter sirip,  $A_m = D \cdot L$ ,  $A_o = \pi D^2/4$ , sedangkan  $L_c = L$ ,  $V = (\pi D^2/4) L$  dan  $S = (\pi D L + \pi D^2/4)$ .

### d. Variasi Penelitian

Variasi penelitian : nilai koefisien perpindahan kalor konveksi atau h.

### e. Cara Mendapatkan Data

Untuk mendapatkan data, program perhitungan distribusi suhu, kalor yang sesungguhnya dilepas sirip, kalor yang dilepas sirip jika seluruh permukaan sirip bersuhu sama dengan dasar sirip,  $(L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5}, L_c^{3/2}(h/(kAm))^{0,5}, L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}, L_c^{5/4}(((\pi/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$ ,  $(L_c^{3/2}((\pi/S)(h/k))^{0,5}$  dan efisiensi dibuat terlebih dahulu. Dengan menjalankan program dan memasukkan input dari variabel penelitian maka akan diperoleh data. Data hasil penelitian dicatat dan siap untuk dapat diolah.

### f. Cara Pengolahan Data

Data data yang telah dicatat, diolah dengan bantuan program tertentu yang dapat menghasilkan bentuk grafik. Dengan membawanya ke dalam bentuk grafik, pembahasan ataupun kajian dan kesimpulan terhadap hasil penelitian dapat dilakukan dengan mudah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Hasil Penelitian

Hasil penelitian dalam bentuk angka disajikan pada Tabel 2, 3, 4, 5, dan 6, sedangkan dalam bentuk grafik disajikan pada Gambar 3, 4, 5, 6 dan 7.

Tabel 2.  $\xi_1 (= (L_c+0,25D)((2h/(kD))^{0,5})$  vs efisiensi  $\eta$

$\xi_1$	Efisiensi $\eta$ , %					
	Waktu, detik					
	0	2	4	6	8	10
0,04	100	99,98	99,97	99,96	99,96	99,95
0,51	100	97,58	95,74	94,30	93,17	92,28
1,28	100	85,97	76,93	70,90	66,86	64,16

1,57	100	79,86	68,08	60,93	56,58	53,93
2,03	100	69,19	54,30	46,82	43,06	41,16
2,56	100	56,37	40,50	34,49	32,21	31,35
3,14	100	43,75	29,71	26,05	25,10	24,85

Tabel 3.  $\xi_2 (=L_c^{3/2}(h/(kA_m))^{0,5})$  vs efisiensi  $\eta$

$\xi_2$	Efisiensi $\eta$ , %					
	Waktu, detik					
	0	2	4	6	8	10
0,02	100	99,98	99,97	99,96	99,96	99,95
0,50	100	92,66	87,46	83,63	80,81	78,74
1,01	100	74,29	60,61	53,07	48,89	46,58
1,59	100	49,51	34,31	29,54	28,04	27,56
2,01	100	34,78	23,58	21,56	21,19	21,13
2,47	100	23,65	17,39	16,84	16,80	16,79
3,02	100	15,66	13,34	13,28	13,27	13,27

Tabel 4.  $\xi_3 (=L_c((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5})$  vs efisiensi  $\eta$

$\xi_3$	Efisiensi $\eta$ , %					
	Waktu, detik					
	0	2	4	6	8	10
0,03	100	99,98	99,97	99,96	99,96	99,95
0,48	100	96,98	94,71	92,95	91,57	90,50
1,07	100	85,97	76,93	70,90	66,86	64,16
1,51	100	74,29	60,61	53,07	48,89	46,58
2,00	100	60,27	44,39	37,78	35,03	33,88
2,61	100	43,75	29,71	26,05	25,10	24,85
3,02	100	34,78	23,58	21,56	21,19	21,13

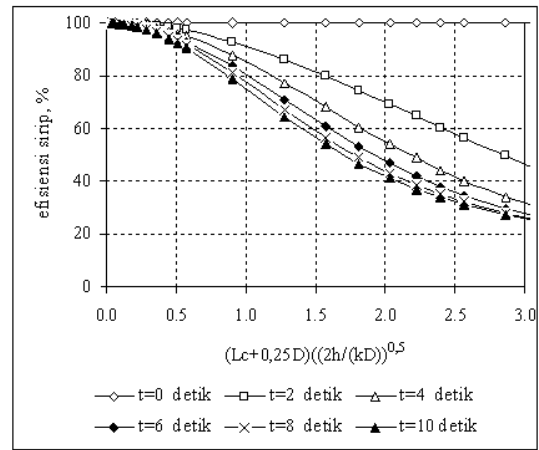
Tabel 5.  $\xi_4 (=L_c^{5/4}((\pi/V)^{1/2}(h/k))^{0,5})$  vs efisiensi  $\eta$

$\xi_4$	Efisiensi $\eta$ , %					
	Waktu, detik					
	0	2	4	6	8	10
0,03	100	99,98	99,97	99,96	99,96	0,03
0,48	100	96,98	94,71	92,95	91,57	90,50
1,08	100	85,97	76,93	70,90	66,86	64,16
1,53	100	74,29	60,61	53,07	48,89	46,58
2,03	100	60,27	44,39	37,78	35,03	33,88
2,65	100	43,75	29,71	26,05	25,10	24,85
3,06	100	34,78	23,58	21,56	21,19	21,13

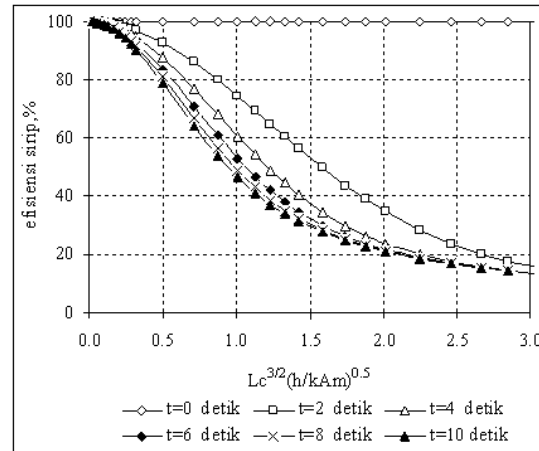
Tabel 6.  $\xi_5 (=L_c^{3/2}((\pi/S)(h/k))^{0,5})$  vs efisiensi  $\eta$

$\xi_5$	Efisiensi $\eta$ , %					
	Waktu, detik					
	0	2	4	6	8	10
0,02	100	99,98	99,97	99,96	99,96	99,95
0,53	100	92,66	87,46	83,63	80,81	78,74
1,07	100	74,29	60,61	53,07	48,89	46,58
1,51	100	56,37	40,50	34,49	32,21	31,35
2,00	100	38,89	26,24	23,50	22,91	22,78

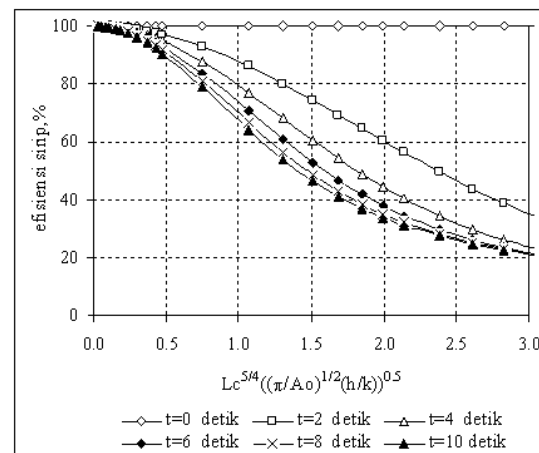
2,61	100	23,65	17,39	16,84	16,80	16,79
3,02	100	17,62	14,36	14,23	14,22	14,22



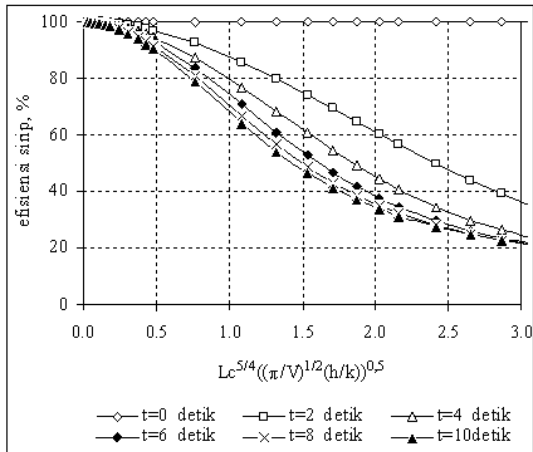
Gambar 3.  $(L_c+0,25D)((2h/(kD)))^{0,5}$  vs efisiensi  $\eta$



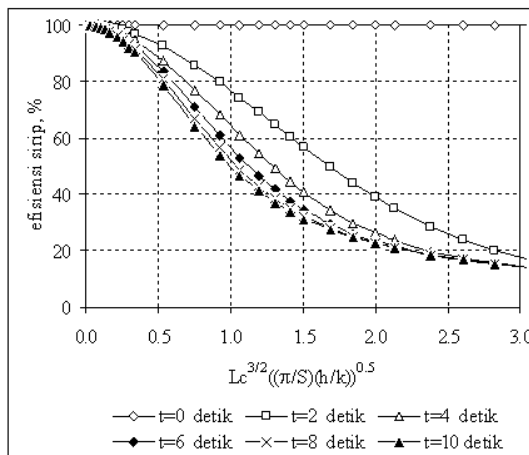
Gambar 4.  $L_c^{3/2}((h/(kA_m)))^{0,5}$  vs efisiensi  $\eta$



Gambar 5.  $L_c^{5/4}((\pi/A_o)^{1/2}(h/k))^{0,5}$  vs efisiensi  $\eta$



Gambar 6.  $L_c^{5/4}((\pi/V)^{1/2}(h/k))^{0.5}$  vs efisiensi  $\eta$



Gambar 7.  $L_c^{3/2}((\pi/S)(h/k))^{0.5}$  vs efisiensi  $\eta$

**b. Pembahasan**

Dari seluruh hasil penelitian, nampak bahwa semakin besar nilai  $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5$  (pada gambar hanya disajikan sampai bernilai 3, kenyataannya dapat disajikan sampai lebih dari 3) nilai efisiensi sirip  $\eta$  semakin menurun. Pada saat  $t = 0$  detik, semua efisiensi bernilai 100% (ketika seluruh suhu di setiap posisi sirip sama dengan suhu dasar sirip), kemudian dengan berjalannya waktu efisiensi sirip semakin rendah, hal ini terjadi karena dengan berjalannya waktu distribusi suhu pada sirip akan menyesuaikan dengan kondisi lingkungannya. Pada suatu saat, nilai efisiensi bernilai tetap dari waktu ke waktu. Pada saat nilainya tidak berubah terhadap waktu, maka nilai distribusi suhu pada sirip sudah tetap dan keadaan tunak sudah tercapai.

Pada keadaan tunak, pola grafik penelitian yang dihasilkan, tidak berbeda dengan pola grafik yang sudah dihasilkan penelitian sebelumnya (Cengel, 1998; Holman, 1995; Incropera, 1985; Schneider, 1957). Dari grafik yang diperoleh, untuk

mendapatkan nilai efisiensi tertentu yang dimiliki sirip, dapat dilakukan dengan berbagai kondisi yang berbeda, bahan sirip yang berbeda dan ukuran sirip yang berbeda. Dengan memilih nilai dari  $\xi_1$  dipilih yang sama atau nilai  $\xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5$  dipilih sama maka akan menghasilkan nilai efisiensi yang sama. Demikian juga untuk keadaan tak tunak.

Untuk semua hasil penelitian, jika nilai koefisien perpindahan kalor konveksi  $h$  diperbesar (bahan sirip, bentuk dan ukuran geometri sirip dipilih tetap), maka semua nilai  $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5$  akan membesar. Hal ini berarti bahwa dengan memperbesar nilai koefisien perpindahan kalor konveksi  $h$ , nilai efisiensi sirip yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena nilai distribusi suhu yang dihasilkan pada sirip semakin menurun. Dengan menurunnya distribusi suhu pada sirip, maka beda suhu antara sirip dengan suhu fluida di sekitar sirip semakin kecil. Tetapi bukan berarti laju aliran kalor yang dilepas sirip akan menurun. Seperti diketahui bahwa laju aliran kalor yang dilepas sirip berbanding lurus dengan nilai koefisien perpindahan kalor konveksinya.

Nilai koefisien perpindahan kalor konveksi dapat diperbesar dengan berbagai cara, misalnya dengan : (1) memperbesar kecepatan aliran fluida yang melintasi sirip dan (2) mengganti jenis fluida yang melintasi sirip, misalnya mengganti udara dengan air. Tentunya semuanya bertujuan untuk memperbesar angka Nusselt-nya.

Untuk keadaan tunak, semakin besar nilai konduktivitas termal bahan  $k$ , efisiensi sirip akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena dengan membesarnya nilai  $k$ , nilai  $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5$  akan mengecil. Dengan kata lain, nilai distribusi suhu yang terjadi pada sirip semakin tinggi. Sedangkan pada keadaan tak tunak, sifat bahan yang berpengaruh meliputi : massa jenis, kalor jenis dan nilai konduktivitas termal bahan  $k$ . Semakin tinggi nilai distribusi suhu yang dihasilkan, semakin besar nilai efisiensinya.

**KESIMPULAN**

- Semakin kecil nilai  $\xi_1 = (L_c + 0,25D)(2h/(kD))^{0,5}$ ,  $\xi_2 = L_c^{3/2}(h/(kAm))^{0,5}$ ,  $\xi_3 = L_c((\pi/A_0)^{1/2}(h/k))^{0,5}$ ,  $\xi_4 = L_c^{5/4}(((\pi/V)^{1/2})(h/k))^{0,5}$ , dan  $\xi_5 = (L_c^{3/2})((\pi/S)(h/k))^{0,5}$ , efisiensi sirip  $\eta$  semakin menurun.
- Semakin besar nilai koefisien perpindahan kalor konveksi  $h$ , nilai efisiensi sirip  $\eta$  semakin kecil.
- Untuk keadaan tunak, semakin besar nilai konduktivitas termal bahan, nilai efisiensi sirip  $\eta$  semakin besar.

**DAFTAR PUSTAKA**

Bintoro, A.N. dan Purwadi, P.K., 2006, "Efektivitas Sirip Piramid Keadaan Tak Tunak dengan Sifat Bahan  $k = k(T)$ ", *Prosiding Seminar Nasional*

*Teknologi : Teknologi Bagi Masyarakat*, FT USD Yogyakarta.

Cengel, Y.A., 1998, *Heat Transfer A Practical Approach*, McGraw-Hill, New York.

Holman J.P., 1995, *Perpindahan Kalor*, Edisi keenam, Erlangga, Jakarta.

Incropera, F.P. dan DeWitt, D.P., 1985, *Introduction to Heat Transfer*, John Wiley & Sons, New York.

Paskalianus dan P.K. Purwadi, 2006, "Efektivitas Sirip Piramid Terpotong Pada Keadaan Tak Tunak dengan Konduktivitas Termal Bahan  $k = k(T)$ ", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi : Teknologi Bagi Masyarakat*, FT USD Yogyakarta.

Purwadi P.K., 2007, "Efektivitas Sirip Keadaan Tak Tunak dengan Nilai Konduktivitas Termal  $k = k(T)$ ", *Prosiding Seminar Nasional Teknoin, Inovasi Teknologi dalam Bisnis dan Industri : Peluang dan Tantangan*, FTI UII Yogyakarta.

Purwadi P.K., 2008, "Efektivitas Sirip Longitudinal Profil Segitiga Keadaan Tak Tunak dengan Nilai  $k = k(T)$ ", *Prosiding Seminar Nasional*, Universitas Petra Surabaya.

Purwadi P.K., 2008, "Distribusi Suhu, Laju Aliran Kalor dan Efektivitas Sirip Berpenampang Tidak Tetap Keadaan Tak Tunak", *Prosiding Penelitian Dosen Muda dan Kajian Wanita Tahun 2007*, UNY.

Schneider, P.J., 1957, *Conduction Heat Transfer*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Amerika.

Supranto, 1991, *Penelitian Perpindahan Panas pada Metal Fin Sirkular*, PAU Ilmu Teknik UGM Yogyakarta.