

**Studi Eksperimental Perpindahan Panas Konveksi Paksa Diantara Fin****MUH. SETIAWAN SUKARDIN**

Akademi Teknik Industri Makassar  
 Komp. Dosen Unhas Tamalanrea BG-19 Makassar  
[setiawan\\_mkz@yahoo.co.id](mailto:setiawan_mkz@yahoo.co.id)

**Abstrak**

Pemanfaatan penukar panas hampir menyentuh segala aspek kehidupan manusia. Penggunaan fin pada penukar panas dapat meningkatkan laju perpindahan panas dengan volume dan harga yang terbatas. Jarak optimal antar fin pada perpindahan konveksi sangat dibutuhkan untuk memperoleh laju perpindahan panas yang maksimal. Penggunaan fin ini, sebaiknya diiringi dengan penggunaan volume maupun biaya yang optimal, sehingga penelitian ini dititiberatkan pada masalah berapa jarak optimal (lapisan batas termal kedua fin bersinggungan) kedua fin segiempat. Tujuan penelitian adalah; untuk menghitung temperatur tak berdimensi antara fin segiempat yang dipanasi dan menentukan jarak optimal kedua fin segiempat yang panas terhadap laju perpindahan panas. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan memperoleh data untuk 6 tingkat kecepatan aliran udara terhadap variasi jarak kedua permukaan pelat tembaga pada temperatur pelat tembaga dijaga konstan. Panjang fin 200 mm, tinggi fin 40 mm, tebal fin 1 mm. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan aliran udara melalui fin dan variasi jarak fin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada bilangan Reynolds 1900, 2700, 3800, 5380, 7120, 8510 di jarak celah fin 3 mm dan 5 mm menunjukkan temperatur tak berdimensi dekati 1 (satu), sedangkan pada jarak celah 25 mm menunjukkan temperatur tak berdimensi mendekati 0 (nol). Pada kecepatan udara bebas yang sama menunjukkan profil distribusi temperatur semakin berkembang jika semakin bertambah jarak antar fin. Jika jarak antar fin semakin besar, maka lapisan batas thermal pada kedua fin semakin berjauhan, persinggungan lapisan batas semakin kecil, hingga suatu saat lapisan batas kedua fin tidak bersinggungan. Jarak optimal untuk bilangan Reynolds 1900, 2700, 3800, 5380, 7120, 8510 berturut-turut  $D_{opt} = 12,9$  mm, 10,8 mm, 9,8 mm, 8,3 mm, 7 mm, 6,5 mm. Korelasi jarak optimum pengujian adalah  $D_{opt}/L = 2.8 \cdot Re^{-0.5} \cdot Pr^{-0.25}$ . Fenomena ini sesuai dengan kesimpulan dari *Thermal Solution* berjudul *Optimum fin spacing for fan-cooled heat sinks* menyimpulkan bahwa semakin besar kapasitas (kecepatan aliran udara) fan maka jarak celah fin  $D_{opt}$  akan makin kecil. Jarak optimal celah fin  $D_{opt}$  berbanding lurus dengan panjang fin yang sejajar dengan aliran udara.

**Kata kunci : fin, konveksi paksa, aliran, udara, lapisan batas, jarak optimal,**

**Pendahuluan****Latar Belakang**

Pemanfaatan penukar panas hampir menyentuh segala aspek kehidupan manusia. Penggunaan penukar panas sebaiknya dibarengi dengan penggunaan optimal, volume maupun biaya. Penggunaan fin untuk pada penukar panas dapat meningkatkan laju perpindahan panas dengan volume dan harga yang terbatas. Jarak optimal antar fin pada perpindahan konveksi sangat dibutuhkan untuk memperoleh laju perpindahan panas yang maksimal.

Andi Erwin Eka Putra telah melakukan studi eksperimental perpindahan panas konveksi bebas diantara fin yang memperlihatkan bahwa profil distribusi temperatur semakin berkembang dengan berkurangnya jarak antar fin. U. Petrus Palinggi melakukan kajian eksperimental pengaruh panjang dan tebal fin segi empat pada pendinginan permukaan

dinding sebuah benda yang menunjukkan pengaruh variasi panjang fin terhadap distribusi temperatur. *Thermal Solution* berjudul *Optimum fin spacing for fan-cooled heat sinks* menyimpulkan bahwa semakin besar kapasitas fan maka jarak celah fin  $D_{opt}$  akan makin kecil dan jarak celah fin  $D_{opt}$  berbanding lurus dengan panjang fin yang sejajar dengan aliran udara. Kim Jin Sung, Kim Dong-Kwon, Oh Hee Hwan dalam penelitiannya, perbandingan karakteristik aliran fluida dan panas pada rangkum fin balok dan fin plat. Penelitian ini menjelaskan bahwa pada aliran laminar, makin besar bilangan Reynold aliran maka akan semakin kecil tahanan termal (*thermal resistance*) dan perubahan tekanan (*pressure drop*) semakin besar. Perlu dilakukan penelitian penentuan jarak optimal panas konveksi paksa kedua fin segi empat yang panas terhadap laju perpindahan panas dilalui udara mengalir.

**TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menghitung gradien temperatur antara fin segiempat yang dipanasi.
2. Menentukan jarak optimal kedua fin segiempat yang panas terhadap laju perpindahan panas yang dilalui udara yang mengalir .

**Tempat Penelitian**

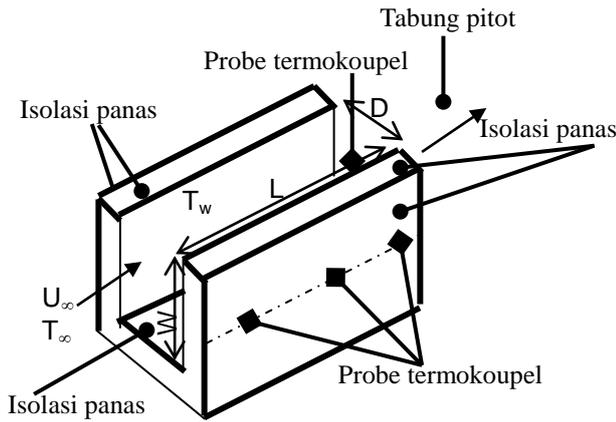
Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

**Instalasi Penelitian**

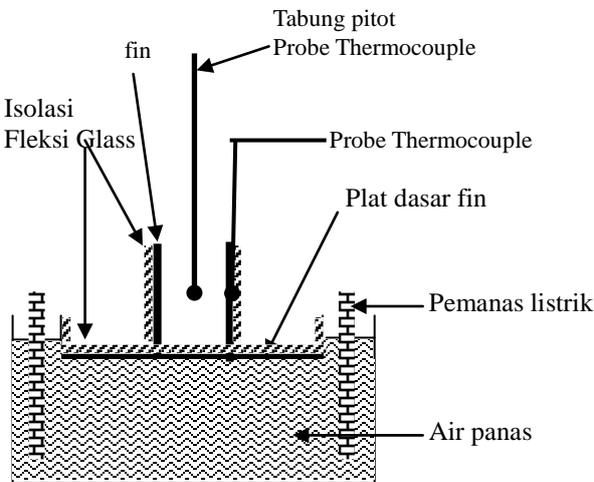
Dimensi Fin : Panjang 200 mm, tinggi 40 mm, tebal 1 mm



Gambar 1. Wind tunnel



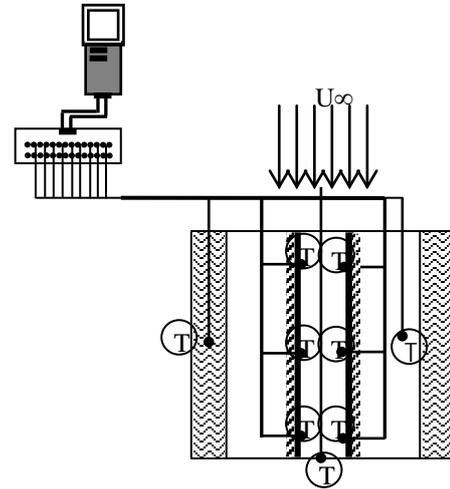
Gambar 2 Seksi uji fin



Gambar 3. Tampak Depan Seksi Uji

Keterangan gambar :

1. Display termometer
2. Selektor dengan 12 port
3. Heater sebanyak 4 buah
- $T_1$  sampai  $T_6$  temperatur pada dinding fin
- $T_7$  temperatur udara diantara fin
- $T_8$  temperatur plat dasar
- $T_9$  Temperatur air pemanas
- $T_\infty$  Temperatur sekeliling



Gambar 4. Tampak Atas Seksi Uji

**Prosedur Penelitian**

Penelitian ini dilakukan untuk 6 tingkat kecepatan aliran udara terhadap variasi jarak kedua permukaan pelat tembaga pada temperatur pelat tembaga dijaga konstan. Panjang fin 200 mm, tinggi fin 40 mm, tebal fin 1 mm. Sebelum pengambilan data, kalibrasi alat ukur (*Thermocouple*, manometer tabung pitot,)

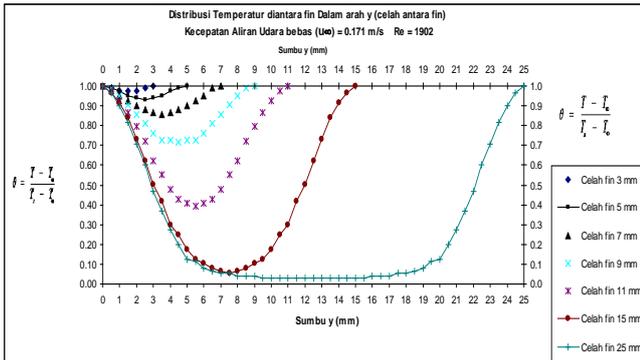
Adapun langkah-langkah pengukuran distribusi temperatur sebagai berikut:

1. Heater dipanaskan.
2. Penentuan temperatur kedua pelat, dengan mengatur heater yang terbenam dalam air panas dan memperhatikan display thermocouple. (temperatur pelat 99,6°C pada tekanan 1 atm).
3. Temperatur kedua pelat sama dan konstan (diamkan ± 3 menit hingga suplay panas dari air pemanas ke pelat sama dan konstan).
4. Pengaturan jarak antar kedua pelat (variasi jarak antar pelat 3, 5, 7, 9,11, 15, 25 mm) . Posisi thermocouple  $T_7$  dan tabung pitot P pada jarak yang sama dengan kedua fin dengan menggunakan mistar geser.
5. Udara dialirkan dengan adanya isapan dari fan yang dapat diatur kecepatannya.
6. Pengukuran tekanan pada tabung pitot, Pengukuran temperatur sebagai berikut ;
  - a. Temperatur pada dinding fin  $T_1 - T_6$
  - b. Temperatur udara diantara fin  $T_7$

- c. Temperatur plat dasar  $T_8$
- d. Temperatur air pemanas  $T_9$
- e. Temperatur sekeliling  $T_\infty$
- 7. Pengukuran temperatur udara di dekat fin  $T_7$  setiap jarak ( $y$ ) dengan interval 1 mm di titik  $x = 200$  mm dan pada jarak 20 mm dari ujung atas fin ( $z = 20$  mm).
- 8. Mengulangi prosedur 2 - 7 untuk setiap variasi kecepatan.

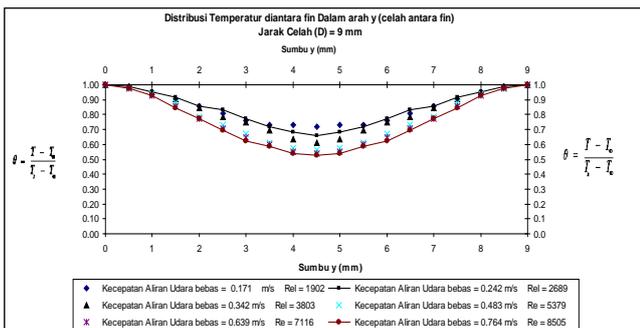
**Hasil Penelitian dan Pembahasan**  
**Profil Temperatur Celah**

Berdasarkan data pengamatan memperlihatkan Profil temperatur udara diantara fin di beberapa jarak antar fin ( $D$ ) pada kecepatan yang bervariasi :



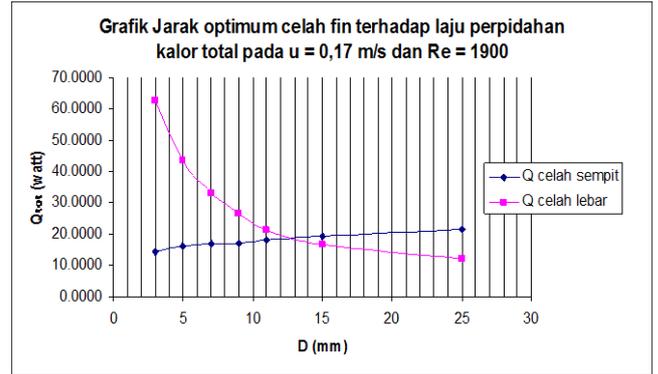
Gambar 5. Profil temperatur udara diantara fin di beberapa jarak antar fin ( $D$ ) pada kecepatan 0,17 m/s

Pada gambar 5. terlihat bahwa pada kecepatan udara bebas  $U_\infty$  yang sama menunjukkan profil distribusi temperatur semakin berkembang dengan semakin besarnya jarak antar fin ( $D$ ). Hal ini terjadi karena pada jarak  $D$  yang semakin besar, maka lapisan batas termal pada kedua plat semakin merenggang (berjauhan), hingga suatu saat lapisan batas kedua plat tidak bersinggungan. Sedangkan pada jarak  $D$  yang semakin kecil, maka lapisan batas termal pada kedua plat semakin berdekatan (bersinggungan), hingga persinggungan lapisan batas semakin besar. Dari grafik di atas juga terlihat bahwa sebagian aliran udara pada celah fin pada jarak celah fin ( $D$ ) 25 mm gradien temperaturnya mendekati nol, berarti aliran udara tidak menyerap kalor yang signifikan dari dinding fin.

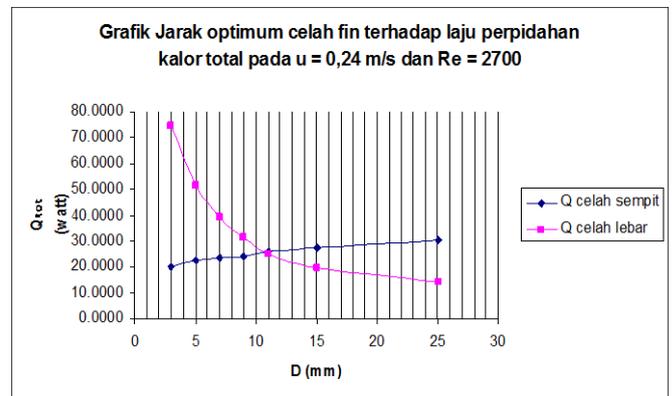


Gambar 6. Profil temperatur udara diantara fin pada jarak

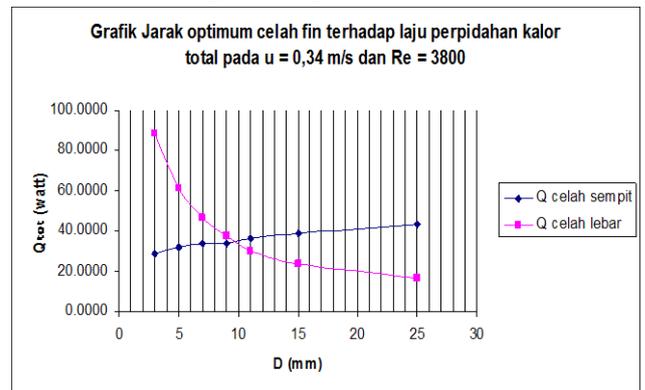
antar fin ( $D$ ) yang sama,  $D = 9$  mm  
 Pada gambar 6. terlihat pula, pada jarak antar fin ( $D$ ) yang sama, maka profil distribusi temperatur semakin berkembang dengan semakin besarnya kecepatan udara bebas  $U_\infty$ . Motif yang sama terjadi pada jarak celah fin ( $D$ ) lainnya. Hal ini terjadi karena pada kecepatan udara bebas  $U_\infty$  yang semakin besar, maka lapisan batas thermal pada kedua plat semakin kecil (tipis). Sedangkan pada kecepatan udara bebas  $U_\infty$  yang semakin kecil, maka lapisan batas thermal pada kedua fin semakin besar (tebal). Tebal lapisan batas termal menunjukkan jarak terluar dari dinding fin yang dipengaruhi secara signifikan oleh panas fin.



Gambar 7. Grafik jarak optimum celah fin  $D_{opt}$  terhadap laju perpindahan kalor total dalam rangkum fin pada  $Re_L$  1900

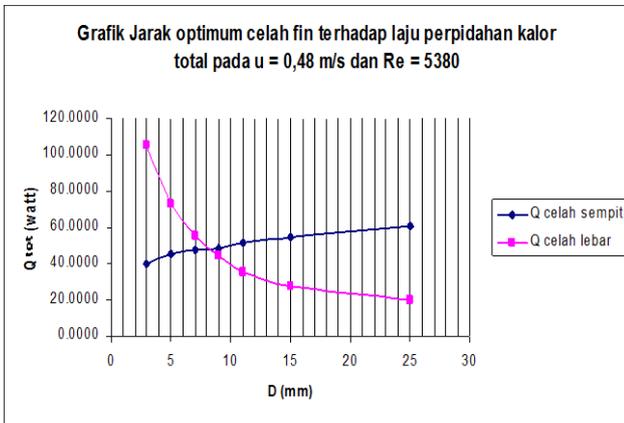


Gambar 8. Grafik jarak optimum celah fin  $D_{opt}$  terhadap laju perpindahan kalor total dalam rangkum fin pada  $Re_L$  2700



Gambar 9. Grafik jarak optimum celah fin  $D_{opt}$  terhadap laju perpindahan kalor total dalam rangkum fin pada  $Re_L$  3800

Dalam menghitung laju kalor total fin  $Q_{tot}$ , diasumsi fin yang dihitung berada pada rangkum fin, pada masing masing perlakuan jarak fin  $D$  yang bervariasi ( $D = 0,003$  m,  $D = 0,005$  m,  $D = 0,007$  m,  $D = 0,009$  m,  $D = 0,0011$  m,  $D = 0,015$  m,  $D = 0,025$  m.



Gambar 10. Grafik jarak optimum celah fin  $D_{opt}$  terhadap laju perpindahan kalor total dalam rangkum fin pada  $Re_L$  5380

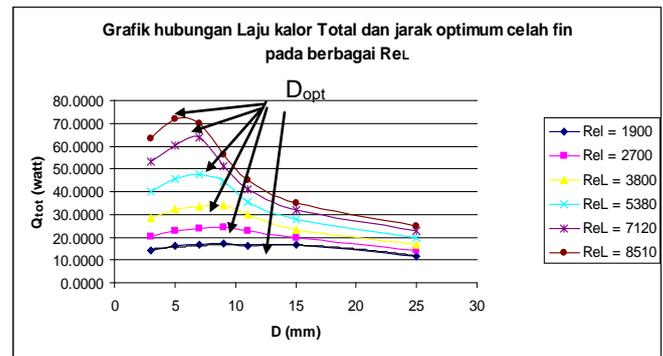
Tabel 1 Perbandingan antara Korelasi hasil pengujian dan Korelasi Morega & Bejan

Korelasi hasil pengujian	Korelasi Morega & Bejan
$\frac{D_{opt}}{L} = 2,8 Re_L^{-0,5} Pr^{-0,25}$	$\frac{D_{opt}}{L} = 3,2 Re_L^{-0,5} Pr^{-0,25}$

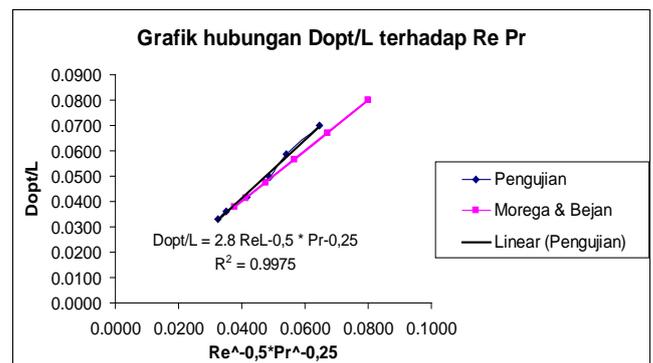
Tabel 2 Perbandingan Jarak optimal celah Fin pada pengujian dengan Korelasi Morega & Bejan

Re	Pr	L	Morega & Bejan	
			Pengujian Dopt	Bejan Dopt
1900	0.709	0.2	0.0129	0.0160
2700	0.709	0.2	0.0108	0.0134
3800	0.709	0.2	0.0098	0.0113
5380	0.709	0.2	0.0083	0.0095
7120	0.709	0.2	0.0070	0.0083
8510	0.709	0.2	0.0065	0.0076

Jarak optimal fin  $D_{opt}$  tiap kecepatan udara bebas  $U_\infty$  diperoleh dari perpotongan garis grafik. Grafik jarak optimum fin  $D_{opt}$  untuk  $Re_L$  1900,  $Re_L$  2700,  $Re_L$  3800,  $Re_L$  5380,  $Re_L$  7120,  $Re_L$  8510 jarak optimalnya (perpotongan kurva) berturut-turut  $D_{opt} = 12,9$  mm,  $D_{opt} = 10,8$  mm,  $D_{opt} = 9,8$  mm,  $D_{opt} = 8,3$  mm,  $D_{opt} = 7$  mm,  $D_{opt} = 6,5$  mm. Titik  $D_{opt}$  merupakan jarak celah fin yang paling efektif dalam memindahkan kalor. Terlihat pada gambar 7, 8, 9, 10.



Gambar 11. Grafik jarak optimum celah fin  $D_{opt}$  terhadap laju perpindahan kalor total dalam rangkum fin pada  $Re_L$  yang bervariasi



Gambar 12. Grafik jarak optimum celah fin  $D_{opt}/L$  terhadap  $Re^{-0,5} \cdot Pr^{-0,25}$  dengan menggunakan korelasi pengujian dan korelasi Morega & Bejan

Dari tabel 1 dan Gambar 12 terlihat bahwa korelasi hasil pengujian dibandingkan Korelasi Morega & Bejan terlihat adanya perbedaan. Korelasi ini menunjukkan bahwa semakin besar Bilangan Raynold  $Re_L$  aliran dan Bilangan Prantdel  $Pr$  fluida pendingin maka Jarak optimal celah fin  $D_{opt}$  semakin kecil. Semakin panjang fin yang sejajar aliran fluida, maka Jarak optimal celah fin  $D_{opt}$  semakin besar. Fenomena ini sesuai dengan kesimpulan dari *Thermal Solution* berjudul *Optimum fin spacing for fan-cooled heat sinks* menyimpulkan bahwa semakin besar kapasitas (kecepatan aliran udara) fan maka jarak celah fin  $D_{opt}$  akan makin kecil. Jarak optimal celah fin  $D_{opt}$  berbanding lurus dengan panjang fin yang sejajar dengan aliran udara.

### KESIMPULAN

Sesuai dengan tujuan dan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada  $Re_L$  1900,  $Re_L$  2700,  $Re_L$  3800,  $Re_L$  5380,  $Re_L$  7120,  $Re_L$  8510 di jarak celah fin 3 mm dan 5 mm menunjukkan temperatur tak berdimensi dekati 1 (satu), sedangkan pada jarak celah 25 mm menunjukkan temperatur tak berdimensi mendekati 0 (nol). Pada kecepatan udara bebas  $U_\infty$  yang sama menunjukkan profil distribusi

temperatur semakin berkembang dengan semakin bertambahnya jarak antar fin (D). Pada jarak D yang semakin besar, maka lapisan batas thermal pada kedua fin semakin berjauhan.

2. Jarak optimal celah fin segiempat yang panas terhadap laju perpindahan panas terlihat bahwa untuk  $Re_L$  1900,  $Re_L$  2700,  $Re_L$  3800,  $Re_L$  5380,  $Re_L$  7120,  $Re_L$  8510 jarak optimalnya berturut-turut  $D_{opt} = 12,9$  mm,  $D_{opt} = 10,8$  mm,  $D_{opt} = 9,8$  mm,  $D_{opt} = 8,3$  mm,  $D_{opt} = 7$  mm,  $D_{opt} = 6,5$  mm. Korelasi jarak optimum pengujian  $D_{opt}/L = 2.8 \cdot Re^{-0.5} \cdot Pr^{-0.25}$ .

### Nomenklatur

$D_{opt}$  Jarak optimal antar fin (mm)

L lebar fin yang sejajar aliran fluida pendingin (mm)

Re Bilangan tak berdimensi Reynold

Pr Bilangan tak berdimensi Prantdel

$U_{\infty}$  Kecepatan udara bebas

### Referensi

- Bejan A, 1993, *Heat Transfer, John Wiley & Sons, Singapura*
- Incropera.F.P, Dewitt.D.P, 1990, *Fundamental of Heat end Mass Transfer*, Edisi ketiga, John Wiley & Sons, Singapura.
- Kim & Kim, Oh, 2008, *Jurnal Comparison of fluid flow and thermal characteristics of Plate-fin and pin-fin heat sinks Subject to a parallel flow*, Taylor & Francis, vol 29 no. 2.
- Kent's, 1976, *Mechanical Engineer's Handbook*, Twelfth Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Munson B.R., etc, 2002, **Mekanika Fluida**, Edisi Keempat, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Ozisik. M.N, 1977, *Basic Heat Transfer*, Inrenational Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.
- Putra, E.E, 2005, **Tesis Studi Eksperimental Perpindahan Kalor Konveksi Bebas diantara fin**, Jurusan Mesin, Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Makassar
- Palinggi. U. P,2007, **Kajian Eksperimental Pengaruh Panjang Dan Tebal Fin Segi Empat Pada Pendinginan Permukaan Dinding Sebuah Benda**, Jurusan Mesin, Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Makassar
- Schlichting Hermann, Tranlated by Kestin. J, 1979 *Boundary-Layer Theory*, Edisi ketujuh, Mc. Graw-Hill Book Company.