

## ANALISIS KINERJA TERMAL *HEAT PIPE* DENGAN VARIASI SUDUT BENGKOK SISI ADIABATIS

Arif Rochman Fachrudin

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang  
Jl. Soekarno – Hatta no. 9, PO. BOX 04 Malang

E-mail:  
arfachrudin@gmail.com

### Abstract

*Heat pipe* merupakan salah satu alat penukar kalor yang memungkinkan pemindahan sejumlah kalor melalui luas permukaan yang sangat kecil. *Heat Pipe* mempunyai peran dalam sistem pendinginan dalam komponen elektronika. Dengan sistem pendinginan maka temperatur komponen akan terjaga sehingga terhindar dari kerusakan kerusakan yang diakibatkan dari panas yang berlebih (*over heating*). *Heat pipe* terdiri dari tiga bagian, yaitu evaporator, adiabatik dan kondensor. Kedalam pipa itu diberi fluida kerja yang berfungsi membawa panas dari evaporator dan melepaskannya di kondensor. Di bagian Evaporator, panas dari komponen yang didinginkan diserap dan dipindahkan ke ujung yang lain yaitu bagian Kondensor untuk dilepas panasnya dilingkungan.

Kegiatan penelitian ini bertujuan mengetahui sejauh mana kinerja termal dari *heat pipe* sebagai penukar kalor dengan kondisi pipa yang dibengkokkan. *Heat Pipe* diteliti dengan variasi dibengkokkan karena dalam aplikasinya, penempatan *heat pipe* sering terkendala dengan ruang yang tersedia sehingga bentuk *heat pipe* harus menyesuaikan dengan tempat yang ada. Salah satu cara menyesuaikan yang ada adalah mendesain *heat pipe* dengan pembengkokan sisi adiabatik. Variasi sudut bengkok yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ , dan  $180^{\circ}$ . Besar temperatur yang digunakan adalah  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $85^{\circ}\text{C}$ ,  $120^{\circ}\text{C}$ .

Metode penelitian ini adalah eksperimen dengan menganalisis secara one way Anova. Dari data yang ada dianalisis untuk mengetahui  $f$  hitung dibandingkan dengan  $f$  tabel. Jika  $f$  Hitung  $>$  dari pada  $f$  tabel maka hipotesis  $0$  diterima. Dengan diterimanya hipotesis  $0$  berarti ada pengaruh yang signifikan antara dua variabel.

Hasil penelitian ini adalah ada perbedaan pengaruh rata-rata temperatur yang dihasilkan *heat pipe* pada sudut bengkok  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$  terhadap *end to end* (kinerja *heat pipe*) yang signifikan pada taraf nyata 5%. Semakin besar sudut bengkok dengan berbagai temperatur *end to end*  $\Delta T [^{\circ}\text{C}]$  akan semakin bertambah sehingga kinerja *heat pipe* semakin menurun dan semakin tinggi temperatur pada sudut yang berbeda yang bekerja pada *heat pipe* maka *end to end*  $\Delta T [^{\circ}\text{C}]$  akan semakin besar yang berarti kinerja termal *heat pipe* meningkat.

**Kata Kunci :** *heat pipe*, pipa kalor, adiabatik, *heat exchanger*, kondensor

### PENDAHULUAN

#### Latar belakang masalah

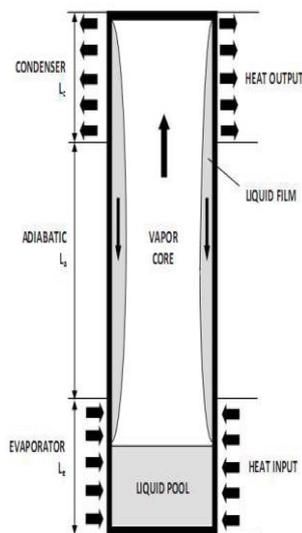
Dalam bidang *mechanic* maupun *electric* dibutuhkan suatu alat pendingin untuk melindungi komponennya dari kerusakan. Dengan sistem pendinginan maka temperatur komponen akan terjaga sehingga terhindar dari kerusakan kerusakan yang diakibatkan dari panas yang berlebih (*over heating*).

Salah alat pendingin yang efektif dalam memindahkan panas dalam hal ini adalah *heat pipe*. *Heat pipe* merupakan alat penukar panas yang berupa pipa, terdiri dari 3 bagian utama yaitu : evaporator, adiabatik dan kondensor.

Bagian evaporator merupakan bagian yang menerima panas dan menyerapnya untuk di bawa kebagian kondensor, yaitu bagian yang melepas panas ke lingkungan. Diantara evaporator dan kondensor ada bagian yang memisahkan, yaitu bagian adiabatik sebagai bagian yang terisolasi sehingga tidak ada pertukaran temperatur dengan lingkungan. Didalam pipa itu terdapat fluida kerja yang berfungsi membawa panas dari evaporator dan melepaskannya di kondensor.

Apabila sejumlah panas diberikan pada bagian evaporator panas, maka fluida kerja akan menguap melalui inti tengah. Uap yang

dibangkitkan bertekanan yang besar melebihi tekanan cairan sehingga uap akan menuju ke bagian kondensor. Pada bagian kondensor, fluida kerja yang berupa uap dikondensasikan dengan melepas panas dan fluida yang telah terkondensasi kembali ke bagian evaporator melalui dinding berdasarkan gravitasi. Proses ini berjalan secara terus menerus, panas dipindahkan dari evaporator ke kondensor adalah berbentuk panas laten penguapan.



(Sumber : Sabharwall P.,2009)  
Gambar 1. Heat pipe

Menurut penelitian sebelumnya diperoleh kesimpulan bahwa gaya gravitasi pada *heat pipe* mempunyai efek perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan dengan struktur kapiler (*wick*) dalam *heat pipe* karena struktur *wick* cenderung menambah hambatan terhadap aliran kondensat. Meng-Chang Tsai, dkk (2007) melakukan penelitian pada *loop heat pipe*, dengan menggunakan evaporator dinding *wick* dan tanpa *wick*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Temperatur evaporator tertinggi pada evaporator tanpa sumbu struktur (*wick*). Meena P., dkk (2006) melakukan penelitian terhadap recovery panas pada siklus pengeringan dengan *CLOHP/CV* (*Closed-loop oscillating heat-pipe with check valves*) air-preheater yang digunakan sebagai recovery panas buangan. Hasil penelitian menyimpulkan efektifitas Efektivitas perpindahan panas

tertinggi dicapai pada kecepatan udara terendah dan pada temperatur tertinggi. Heri Sudarmanto (2011), melakukan penelitian campuran konsentrasi aseton dan methanol pada *heat pipe*. Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa campuran konsentrasi aseton dan methanol berpengaruh pada unjuk kerja *heat pipe*, yaitu semakin besar konsentrasi aseton unjuk kerja semakin bagus

Dalam pemakaian *heat pipe* sebagai pendingin, penempatan *heat pipe* sering menjadi kendala karena dimensi panjang dari *heat pipe* sehingga *heat pipe* dibuat bengkok menyesuaikan ruang yang tersedia. Berdasarkan hal tersebut perlu diketahui bagaimana pengaruh sudut bengkok terhadap kinerja termal *heat pipe* sehingga mengetahui berapa persen penurunan atau kenaikan kinerja termalnya yang nantinya dibuat dasar untuk merancang *heat pipe* yang efektif.

Kinerja termal *heat pipe* tergantung pada beberapa hal antara lain fluida kerja, bahan pipa, bentuk dan panjang *heat pipe*.. Kriteria pokok dari kinerja termal ditentukan dari beda temperatur evaporator dan kondensor (*end to end*  $\Delta T$ ), tahanan termal, kapasitas perpindahan kalor (fluk kalor) dan daya output. Secara teori tahanan termal ( $R_{th}$ ) pipa kalor dapat dihitung dengan persamaan (Hopkin et al., 1999) :

$$R_{th} = \frac{T_e - T_{kl}}{Q_{out}}$$

Semakin rendah harga *End to end*  $\Delta T$  [0C], maka kinerja termal akan semakin baik dan sebaliknya semakin besar *End to end*  $\Delta T$  [0C] maka kinerja termal akan tiurun. Semakin rendah harga tahanan termal maka kinerja *heat pipe* semakin baik dan begitu juga sebaliknya. Pada kondisi ideal kalor yang keluar harus sama dengan kalor yang masuk, karena pada kondisi stedi kalor yang dibutuhkan untuk penguapan fluida kerja di evaporator akan sama dengan kalor yang dilepaskan pada saat proses kondensasi uap di daerah kondensor. Kalor yang keluar melalui kondensor dapat dihitung

sebagai berikut :  $Q_{out} = \eta \cdot A \cdot h \cdot (T_w - T_u)$ .  
Fluks kalor didapatkan dari kalor yang keluar ( $Q_{out}$ ) persatuan luas. Koefisien perpindahan kalor konveksi ( $h$ ) diperoleh dengan rumus empiris, khususnya untuk konveksi paksa dengan aliran turbulen dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi sebagai berikut (Holman, 1994 : 60):

Angka Nusselt diperoleh dari (Holman 1994:

$$252) : Nu_d \approx 0,023 Re^{0,8} Pr^n$$

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pengujian ini dititik beratkan dengan variasi sudut bengkok sisi adiabatik terhadap kinerja termal *heat pipe* dengan menganalisis salah satu indikator kinerja termal yaitu *end to end*  $\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ]

### METODE PENELITIAN

#### Tempat

Penelitian ini akan dilakukan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

#### Populasi dan Sampel

##### Populasi

*Heat Pipe* dengan sudut bengkok  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  serta kecepatan angin bervariasi temperatur dari  $50^{\circ}$ ,  $85^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ .

##### Sampel

*Heat Pipe* dengan sudut bengkok  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  serta kecepatan angin bervariasi temperatur dari  $50^{\circ}C$ ,  $85^{\circ}C$ ,  $120^{\circ}C$  diukur dengan menggunakan *laser temperatur gun*.

##### Variabel-variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah :

1. *Heat Pipe* dengan fluida kerja air
2. Sudut bengkok sisi adiabatik adalah  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$
3. Temperatur divariasikan dari  $50^{\circ}C$ ,  $85^{\circ}C$  sampai  $120^{\circ}C$
4. *End to end*  $\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ]

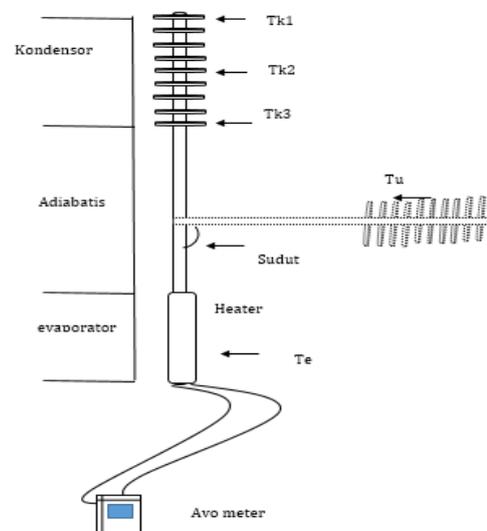
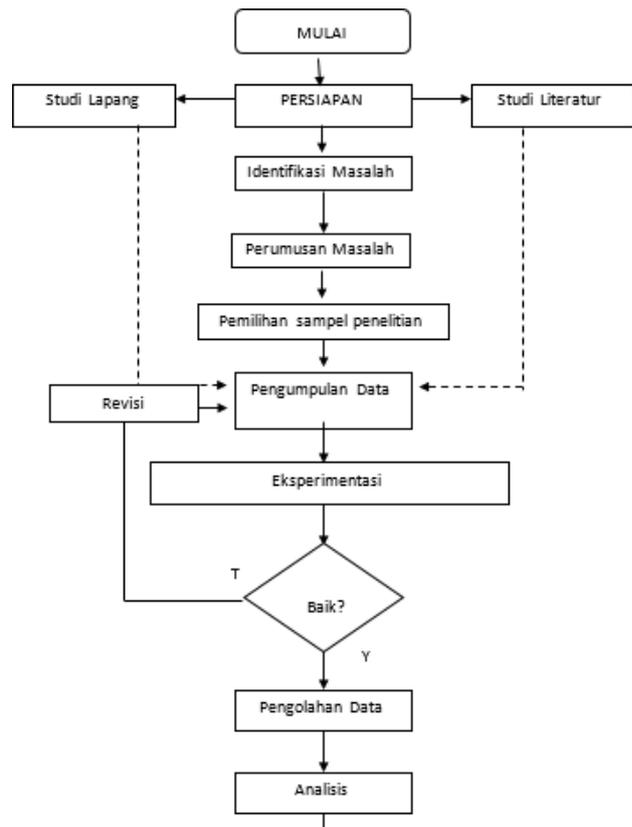
##### Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian bisa dilihat pada gambar 2

Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Gambar 3. Instalasi Penelitian

*heat pipe* dengan sudut bengkok sisi adiabatik



dan dengan variasi temperatur. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi dari *heat pipe* dalam penelitian

Tabel 1. Spesifikasi *heat pipe*

SPESIFIKASI	KET
Panjang total (mm)	400
Panjang kondensor (mm)	144
Panjang adiabatik (mm)	168
Panjang Evaporator (mm)	88

Diameter Pipa (mm)	9,52
Tebal Pipa (mm)	0,5
Fluida kerja	Air
Jumlah sirip	8
Diameter sirip	18
Bahan Pipa	Tembaga

### Data Penelitian

Data primer diambil dari hasil observasi dan eksperimentasi dengan menggunakan Lsset Termometer Gun

### Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data adalah dengan cara:

1. Data diambil adalah data primer (dari hasil pengukuran/eksperimentasi).
2. Uji ekperimentasi.

### Model Matematis

Model matematis yang digunakan adalah desain eksperimental – one way classification (Miller, I, and John E Freund., 1985) adalah:

$$y_{ij} = \mu + K A_i + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

dimana,

$$i = 1, 2, \dots, a;$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

$K A_i$  = Temperatur ke  $i$  [m/s].  $y_{ij}$  = inerja termal yang dihasilkan [watt].  $\epsilon_{ij}$  = Galat

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 memperlihatkan tentang data berkaitan dengan Temperatur evaporator, Sudut sisi adiabatik, dan *end to end*  $\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ] yang dihasilkan *Heat Pipe*.

Tabel 2 Replikasi sudut bengkok  $0^{\circ}$ , Temperatur [ $^{\circ}C$ ] dan *end to end*  $\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ]

Replikasi	<i>End to end</i> $\Delta T$ [ $^{\circ}C$ ]		
	$50^{\circ}$	$85^{\circ}$	$120^{\circ}$
1	68,90	39,03	11,00
2	70,53	40,97	10,07
3	68,33	40,10	8,00
4	70,33	40,00	8,33
5	70,00	40,50	9,00
6	69,83	39,83	8,67

7	70,33	40,00	11,17
Jumlah	488,27	280,43	66,23
Rataan	69,75	40,06	9,46

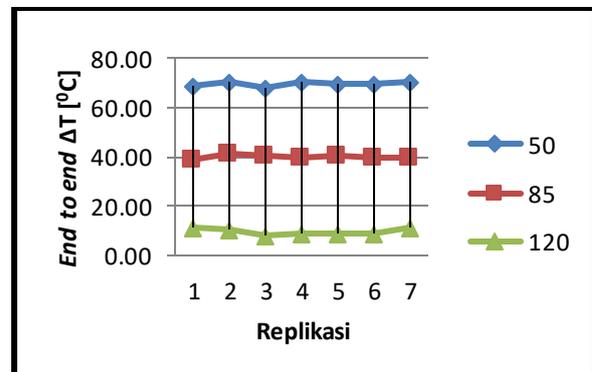
Sumber: Data primer diolah.

Analisis Variansi untuk *Heat Pipe* dengan sudut *heat pipe*  $0^{\circ}$  ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Variansi untuk *heat pipe* dengan sudut kemiringan  $0^{\circ}$

Sumber	dk	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Antar perlakuan	2	2.723,26	6361,630	7104,817	3,55
Galat	18	16,12	0,895		
Total	20	12.739,38			

Kesimpulan: Karena  $f_{hitung}$  lebih besar dari  $f_{tabel}$  ( $7104,817 > 3,55$ ), maka tolak hipotesis nul, artinya ada perbedaan pengaruh rata-rata temperatur yang dihasilkan *heat pipe* pada sudut bengkok  $0^{\circ}$  terhadap *end to end*  $\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ] (*end to end*) yang signifikan pada taraf nyata 5%.



Gambar 4. Grafik Replikasi, delta T, dan temperatur evaporator

Kesimpulan bahwa *end to end*  $\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ] (Tabel 2 dan Gambar 4) adalah pada temperatur evaporator  $120^{\circ}C$  dengan rata-rata *End to end*  $\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ] sebesar  $9,46^{\circ}C$  dengan sudut kemiringan  $0^{\circ}$

Tabel 4 Replikasi sudut bengkok  $90^{\circ}$ , Temperatur [ $^{\circ}C$ ] dan *end to end*  $\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ]

Replikasi	End to end $\Delta T$ [ $^{\circ}$ C]		
	50 <sup>0</sup>	85 <sup>0</sup>	120 <sup>0</sup>
1	71,27	44,13	9,90
2	70,47	43,80	11,00
3	72,50	44,00	9,83
4	71,33	43,67	9,67
5	71,10	43,67	10,00
6	73,67	44,00	10,33
7	71,43	44,00	10,00
Jumlah	70,73	307,27	501,77
Rataan	10,10	43,90	71,68

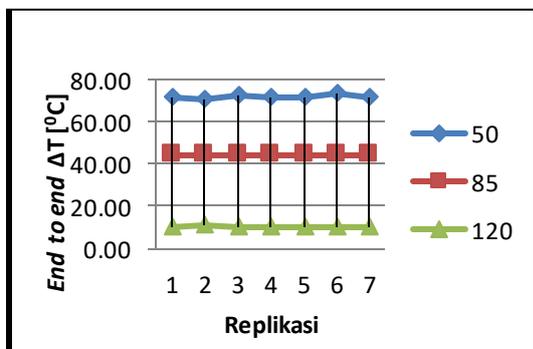
Sumber: Data primer diolah.

Analisis Variansi untuk *heat Pipe* dengan sudut *heat pipe* 90<sup>0</sup> ditunjukkan pada Tabel 5

Tabel 5. Analisis Variansi untuk *heat pipe* dengan sudut kemiringan 90<sup>0</sup>

Sumber	dk	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Antar perlakuan	2	13.312,76	6656,381	14672,348	3,55
Galat	18	8,17	0,454		
Total	20	320,93			

Kesimpulan: Karena fhitung lebih besar dari ftabel (14672 > 3,55), maka ditolak hipotesis nul, artinya ada perbedaan pengaruh rata-rata temperatur *heat pipe* pada sudut bengkok 90<sup>0</sup> terhadap End to end  $\Delta T$  [ $^{\circ}$ C] yang signifikan pada taraf nyata 5%.



Gambar 5. Grafik Replikasi, delta T, dan temperatur evaporator

Kesimpulan bahwa End to end  $\Delta T$  [ $^{\circ}$ C] terkecil (Tabel 4 dan Gambar 5) adalah pada temperatur evaporator 120<sup>0</sup> C dengan rata-rata End to end  $\Delta T$  [ $^{\circ}$ C] sebesar 10,10<sup>0</sup> C dengan sudut kemiringan 90<sup>0</sup>

Tabel 6 Replikasi sudut bengkok 180<sup>0</sup>, Temperatur [ $^{\circ}$ C] dan end to end  $\Delta T$  [ $^{\circ}$ C]

Replikasi	End to end $\Delta T$ [ $^{\circ}$ C]		
	50 <sup>0</sup>	85 <sup>0</sup>	120 <sup>0</sup>
1	80,63	47,83	15,37
2	80,87	47,67	14,23
3	79,67	47,53	15,23
4	80,33	47,60	14,60
5	80,83	47,80	14,83
6	80,83	47,67	14,63
7	80,63	48,00	14,77
Jumlah			
Rataan	103,67	334,10	563,50
	14,81	47,73	80,50

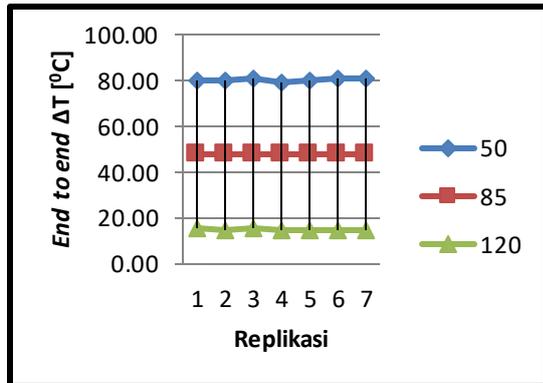
Analisis Variansi untuk *Heat Pipe* dengan sudut *heat pipe* 180<sup>0</sup> ditunjukkan pada Tabel 7

Tabel 7. Analisis Variansi untuk *heat pipe* dengan sudut kemiringan 90<sup>0</sup>

Sumber	Dk	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Antar perlakuan	15.103,36	7551,680	62471,590	15.103,36	3,55
Galat	2,18	0,121			2,18
Total	15.105,54				15.105,54

Sumber: Data primer diolah.

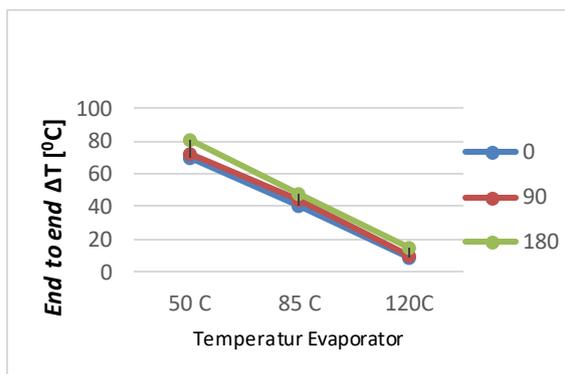
Kesimpulan: Karena fhitung besar dari ftabel (15103,36 > 3,55), maka ditolak hipotesis nul, artinya ada perbedaan pengaruh rata-rata temperatur *heat pipe* sudut bengkok 180<sup>0</sup> terhadap end to end  $\Delta T$  [ $^{\circ}$ C] yang signifikan pada taraf nyata 5%.



Gambar 6. Grafik Replikasi, delta T, dan temperatur evaporator

Kesimpulan bahwa *end to end*  $\Delta T$  [°C] terkecil (Tabel 6 dan Gambar 6) adalah pada temperatur evaporator 120° C dengan rata-rata *end to end*  $\Delta T$  [°C] sebesar 14,81° C dengan sudut kemiringan 180°

Hubungan Temperatur evaporator dengan *end to end*  $\Delta T$  [°C] untuk semua kemiringan ditunjukkan oleh gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik Temperatur evaporator, *End to end*  $\Delta T$  [°C], Sudut kmiringan

Dari gambar 7 didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur pada sudut yang berbeda yang bekerja pada *heat pipe* maka *end to end*  $\Delta T$  [°C] akan semakin kecil dan semakin besar sudut bengkok dengan berbagai temperatur, *end to end*  $\Delta T$  [°C] akan semakin bertambah sehingga kinerja *heat pipe* semakin menurun

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Ada perbedaan pengaruh rata-rata temperatur yang dihasilkan *heat pipe* pada sudut bengkok 0° , 90° dan 180° terhadap *end to end* (kinerja *heat pipe*) yang signifikan pada taraf nyata 5%.
2. Semakin besar sudut bengkok dengan berbagai temperatur, *end to end*  $\Delta T$  [°C] akan semakin bertambah sehingga kinerja *heat pipe* semakin menurun dan semakin tinggi temperatur pada sudut yang berbeda yang bekerja pada *heat pipe* maka *end to end*  $\Delta T$  [°C] akan semakin menurun

## SARAN

Beberapa saran yang bisa disampaikan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Perlu melakukan penelitian dengan jumlah sudu yang berbeda.
2. Perlu melakukan penelitian dengan dimensi sudu yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dunn, P.D. and D.A. Ready, 1994. Heat pipe, Fourth edition, pergamon press, Elsevier Science Ltd
- [1] Faghri A. 1995. Heat Pipe science and tehnologi, Taylor and francis
- [2] Holman, JP. 1986. Heat Transfer Mc Graw Hill, Ltd jasjfi (Penerjemagh). 1994. Perpindahan Kalor. Edisi keempat. Erlangga Jakarta
- [3] Masaru Oomi, Toshiro Fukumoto, Takao Kobayashi, Masamobu Sugiora, Ktsuo Nakayama, and kenichi Namba. 2000. State of the art Technologies Of Micro Heat Pipe Heat Sink for Note Book PCS.
- [4] Mozumder AK, A. F. Akon, M. S. H. Chowdhury dan S. C. Banik , 2010. Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME 41, No. 2, December 2010 Transaction of the Mech. Eng. Div., The Institution of Engineers, Bangladesh
- [5] Hadi, HS. 2003. Pengaruh Sudut kemiringan terhadap Kinerja Thermal Pipa

Kalor Alur Memanjang . Tesis, Universitas  
Brawijaya

- [6] Sathaye, N.D. 2000. Incorporation of heat pipe into engine air pre cooling, Master Thesis, B.E, University of Pune.