

PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP KINERJA TERMAL REVOLVING HEAT PIPE ALUR MEMANJANG DENGAN FLUIDA KERJA METANOL

Heri Soedarmanto ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin

Ringkasan

Heat pipe adalah suatu alat penukar kalor yang memungkinkan perpindahan sejumlah besar kalor melalui luas permukaan yang sangat kecil. Heat pipe terdiri dari evaporator, adiabatik dan kondensor. Penelitian ini bertujuan menyelidiki pengaruh sudut kemiringan terhadap kinerja termal heat pipe putar (revolving heat pipe).

Heat pipe dibuat dari tembaga berdiameter 12,7 mm dan mempunyai panjang 500 mm. Daerah evaporator dan adiabatik diisolasi. Pada daerah kondensornya diberi heat sink untuk pembuangan kalor. Variasi kemiringan yang digunakan adalah 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°. Daya input yang digunakan adalah 16,5 ; 25,7 ; 34,1 ; 43,8 and 52,4 Watt. Heat pipe diputar secara revolusi dengan kecepatan 1075 Rpm. Data yang diperlukan adalah temperatur pada evaporator (T_e), kondensor (T_{k1}, T_{k2}, T_{k3}) dan udara (T_u). Temperatur heat pipe diukur dengan menggunakan Thermokoppel dan Non Contact Infrared Thermometer.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan (terhadap horisontal) untuk semua daya input, maka semakin kecil nilai tahanan termal. Pada semua sudut kemiringan dengan daya input terendah mempunyai tahanan termal tertinggi dan semakin kecil nilainya sampai pada daya input terbesar. Kapasitas perpindahan kalor terbesar dan daya output terbesar terjadi pada sudut kemiringan terbesar.

Kata Kunci : pipa kalor, sirip, revolusi, kemiringan

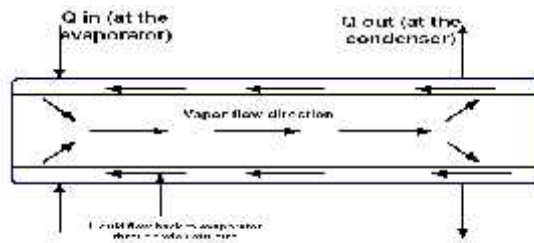
1. PENDAHULUAN

Pendinginan pada bidang elektronik dan mekanik sangatlah penting karena performansi dari komponen-komponen dalam bidang tersebut sangat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu yang terjadi, padahal sistem kalor yang dibangkitkan harus dibuang dari permukaan yang kecil. Beberapa komponen akan mengalami kerusakan bila mengalami kelebihan kalor (*over heating*).

Dalam perkembangannya, alat pendingin yang sering digunakan adalah sirip yang terbuat dari aluminium (*extruded heat sink*) dan di atasnya diberi kipas (*heat sink fan*). Pendingin jenis ini dapat dipakai bila panas yang diserap atau dibuang oleh pendingin tersebut relatif kecil. Untuk daya yang besar dengan densitas panas (*heat flux*) yang tinggi, pendingin ini mempunyai keterbatasan, diantaranya adalah *noise* kipas yang tinggi dan ukuran *heat sink* yang sangat besar. Adapun kelemahan pendingin tersebut adalah umur (*life time*) kipas sangat terbatas.

Suatu alat yang memungkinkan perpindahan sejumlah besar kalor melalui luas permukaan yang sangat kecil adalah pipa kalor (*heat pipe*). *Heat pipe* merupakan pipa penukar kalor yang terdiri dari evaporator (penyerap kalor), adiabatik dan kondensor (pelepas kalor). Pada

pipa itu diisi fluida kerja yang *condensable*. Skema operasi heat pipe dapat dilihat sebagai berikut :



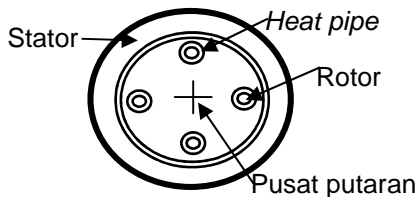
Gambar 1. Skema operasi *heat pipe*
Sumber : Sathaye N. D. (2000:18)

Bila salah satu ujung pipa (evaporator) ditambahkan kalor, zat cair (fluida kerja) menguap melalui inti tengah. Uap yang dibangkitkan pada evaporator mempunyai tekanan lebih besar dari pada cairan sehingga uap berjalan menuju bagian kondensor. Pada ujung pipa satunya lagi (kondensor), kalor dikeluarkan dan uap berkondensasi. Tekanan kapiler mengembalikan fluida yang terkondensasi kembali ke bagian evaporator melalui dinding *wick*. Peredaran ini berulang secara kontinyu dan panas ditransporta-

sikan dari evaporator ke kondensor dalam bentuk panas laten dari penguapan.

Ada berbagai macam aplikasi dari *heat pipe* sebagai alat pendingin. Aplikasi *heat pipe* sebagai pendingin antara lain dapat dijumpai pada komponen komputer yaitu sebagai pendingin processor, hardisk dan VGA.

Heat pipe juga dapat digunakan sebagai pendingin motor listrik, yaitu dengan meletakkan *heat pipe* pada rotor, diluar pusat putaran (*centerline*), sehingga *heat pipe* berputar secara revolusi atau disebut *revolving heat pipe*.



Gambar 2. Penempatan *Heat pipe* pada motor listrik

Beberapa penelitian mengenai putaran dan kemiringan pada *heat pipe* telah dilakukan oleh Hadi S (2003). Hadi melakukan penelitian yang berhubungan dengan pengaruh sudut kemiringan terhadap kinerja termal *heat pipe*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan maka tahanan termal semakin menurun.

Klasing S. K, Thomas S. dan Yerkes (1998). melakukan penelitian tentang prediksi batas kapiler *heat pipe* pada variasi kecepatan dan kemiringan dengan posisi evaporator diatas kondensor menyimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan putar maka tahanan termal semakin menurun dan semakin besar sudut kemiringan, maka batas kapiler semakin menurun dan tahanan termal semakin naik. Pada penelitian itu tidak diperoleh informasi bagaimana fenomena yang terjadi bila posisi evaporator dibawah kondensor dengan kecepatan diatas 1000 Rpm.

Untuk itu, permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh sudut kemiringan terhadap kinerja termal *heat pipe* putar (*revolving heat pipe*) dengan posisi kondensor dibawah evaporator dengan kecepatan putar konstan diatas 1000 Rpm, yaitu 1075 Rpm. Sudut kemiringan adalah diukur dari sudut *heat pipe* dengan horisontal. (*Heat pipe* pada posisi horisontal adalah 0° dan pada posisi vertikal adalah 90°)

2. TINJAUAN PUSTAKA

Heat pipe merupakan alat penukar kalor dengan dimensi yang kecil tetapi dapat memindahkan kalor yang besar. Dalam menjalankan fungsinya sebagai penukar kalor *heat pipe* lebih

menggunakan panas laten dari fluida kerja, dari pada menggunakan panas *sensible* sehingga *heat pipe* mempunyai konduktivitas termal yang besar..

Heat pipe terdiri dari wadah tertutup (pipa) dan didalamnya diinjeksikan fluida kerja yang *condensable*. Panjang dari *heat pipe* dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu evaporator, adiabatik dan kondensor. Dalam *heat pipe* standar, didalam wadah dilapisi oleh material *wick*. Ruang untuk penghantaran uap terletak didalam wadah. Sirip-sirip (*heat sink*) diberikan pada kondensor untuk meningkatkan kecepatan perpindahan kalor sesuai dengan aplikasi.

Ada tiga hal utama dari *heat pipe*, yaitu tabung, fluida kerja, dan dinding struktur kapiler (*Wick*). Tabung berfungsi sebagai tempat fluida kerja dan berfungsi untuk mengisolasi fluida kerja dari lingkungan sekitar. Pemilihan fluida kerja untuk *heat pipe* tergantung dari kondisi kerja yang didinginkan karena berhubungan dengan kalor, temperatur, dan tekanan yang dibutuhkan untuk mengubah fase fluida kerja (Dunn, P D, 1993). *Wick* atau struktur kapiler pada *heat pipe* adalah untuk membangkitkan tekanan kapiler yang berfungsi memindahkan fluida kerja dari kondensor ke evaporator (Sathaye, 2000).

Beberapa penelitian terdahulu (Hopkin, 1999 ; Klasing S. K (1998) : Susilo, H.S. (2004), menunjukkan bahwa sudut kemiringan berpengaruh terhadap kinerja *heat pipe*. Semakin besar sudut kemiringan terhadap horisontal dengan posisi evaporator dibawah kondensor maka kinerja *heat pipe* akan semakin baik. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa *heat pipe* putar, baik *rotating* maupun *revolving* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja *heat pipe*, yaitu semakin besar putaran maka kinerja *heat pipe* akan meningkat.

Revolving heat pipe, merupakan *heat pipe* yang berputar secara revolusi terhadap satu aksis tertentu mengikuti gerakan berputar benda yang didinginkan, yaitu diluar *centerline*. *Revolving Heat pipe* telah dimanfaatkan untuk pendingin motor dan penukar panas putar (Thoren (1984), Gi dan Maezawa (1990) dalam Klasing S. K, Thomas S dan Yerkes (1998)). Castle M.R., Tomas, SK, Yerkes K.L (2000) menyebutkan bahwa *heat pipe* putar mempunyai potensi aplikasi termal pada alternator pesawat, putaran satelit dan skala besar motor listrik.

Kinerja termal (*performance heat pipe*) tergantung pada beberapa hal antara lain fluida kerja, struktur dinding dalam pipa (*wick*), bahan pipa, bentuk, panjang pipa kalor dan kecepatan putaran. Kriteria pokok dari kinerja termal ditentukan dari beda temperatur evaporator dan kondensor (*end to end 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) :

$$R_{th} = \frac{T_e - T_{k1}}{Q_{out}}$$

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 : $Q_{out} = \dot{m} \cdot h_f \cdot (T_w - T_u)$

Fluk kalor didapatkan dari kalor yang keluar (Q_{out}) persatuan luas. Koefesien 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):

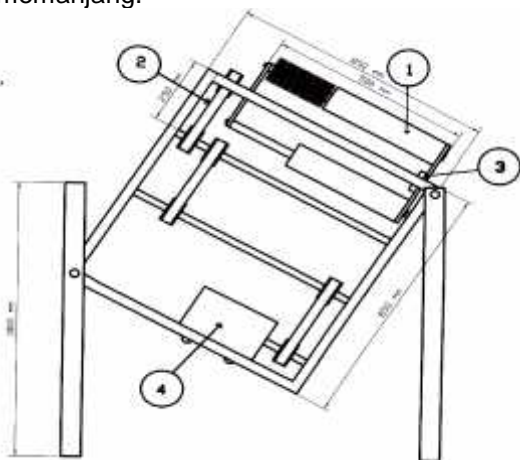
$$h = \frac{Nu \cdot k}{Lk}$$

Angka Nusselt diperoleh dari (Holman 1994: 252) : $Nu_d = 0,023 Re_d^{0,8} Pr^n$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Teknik Mesin Politeknik Negeri Banjarmasin.

Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu untuk menguji secara eksperimen pengaruh sudut kemiringan terhadap kinerja termal *revolving heat pipe* alur memanjang.



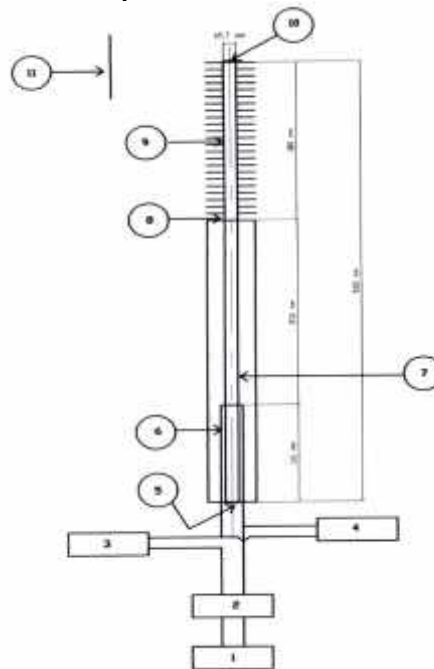
- Keterangan :
1. *Heat pipe*
 2. Transmisi putaran
 3. Transmisi pemanas (*Heater*)
 4. Motor listrik.

Gambar 3. Instalasi Penelitian

Dalam penelitian ini *heat pipe* dipanaskan oleh *heater* dari sumber arus melalui transmisi pemanas dan diputar oleh motor listrik dengan kecepatan putaran konstan, yaitu 1075 Rpm melalui transmisi putaran (*pulley*). *Heat pipe* diatur sedemikian rupa sehingga mempunyai posisi kemiringan terhadap horisontal sesuai kemiringan yang diinginkan.

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- ❖ *Non Contact Infrared Thermometer*
- ❖ Multimeter digital
- ❖ Tachometer
- ❖ Busur derajat



- Keterangan :
1. Sumber arus
 2. Switch
 2. Ampere meter
 3. Volt Meter
 4. Non contact infrared thermometer (T_e)
 5. *Heater* / pemanas
 6. *Heat pipe*
 7. Temperatur kondensor (T_{k3})
 8. Temperatur kondensor (T_{k2})
 9. Temperatur kondensor (T_{k1})
 10. Termometer digital (T_u)

Gambar 4. Susunan alat uji *heat pipe*

Spesifikasi Heat Pipe

Tabel 1 Sepesifikasi *heat pipe*

SPESIFIKASI	KETERANGAN
Panjang total (mm)	500
Panjang kondensor (mm)	180
Panjang adiabatik (mm)	210
Panjang evaporator (mm)	110
Diameter pipa (mm)	12,7
Tebal pipa	0,5
Lebar groove (mm)	1
Jumlah groove	18
Fluida kerja	Metanol
Jumlah sirip	23
Diameter sirip	48
Bahan Pipa	Cu

Prosedur Pengambilan Data

Sebagai langkah awal dilakukan kalibrasi alat ukur temperatur, yaitu *non contact infrared thermometer digital* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengukuran *heat pipe* dalam keadaan berputar (*revolving*) dan dalam keadaan diam. Langkah selanjutnya yaitu mengambil data untuk posisi horisontal (0°) dan kemudian dilanjutkan dengan posisi lainnya.

Ada 7 variasi sudut kemiringan yang menjadi obyek penelitian ini yaitu : 0°, 15, 30°, 45, 60°, 75, 90°. Daya input yang diberikan adalah 16,5 ; 25,7 ; 34,1 ; 43,8 dan 52,4 Watt dengan pertimbangan kalor yang dibangkitkan tidak melebihi *range* temperatur kerja dari methanol, yaitu -50°C sampai 150°C. Daya input dihitung berdasarkan tegangan dan arus listrik yang masuk ke pemanas (*heater*) yaitu : $Q_{in} = V \cdot I$

Pengambilan data temperatur di evaporator (Te), kondensor (Tk₁, Tk₂, Tk₃), dan temperatur udara (Tu) dilakukan setelah kondisi stedi, yaitu ± 120 menit setelah power dihidupkan, dan untuk daya input selanjutnya berselang ± 30 menit. Pengukuran dilakukan pada saat *heat pipe* berputar, masing-masing diulang 3 kali dan setiap daya pemanas diambil 10 data dengan selang 1 menit, sehingga diperoleh data rerata (30 data) setiap daya input yang diberikan.

Untuk setiap satu kemiringan dengan kecepatan konstan (1075 Rpm), diberikan 5 variasi daya input. Untuk kemiringan selanjutnya prosedur pengukurannya diulang lagi dari awal.

Analisa Data

Berdasarkan pengambilan data dari hasil percobaan dan memilih data-data yang mendekati seragam serta dihitung rata-ratanya dengan menggunakan statistik dan diolah dengan persamaan-persamaan sebelumnya. Langkah berikutnya dari data yang ada dihitung *end to end T*, tahanan termal ,daya output dan fluk kalor yang terjadi. Hasil perhitungan selanjutnya dibuat grafik dengan *Software Microsoft Excel*, untuk mengetahui hubungan antara variabel-variabel data tersebut

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

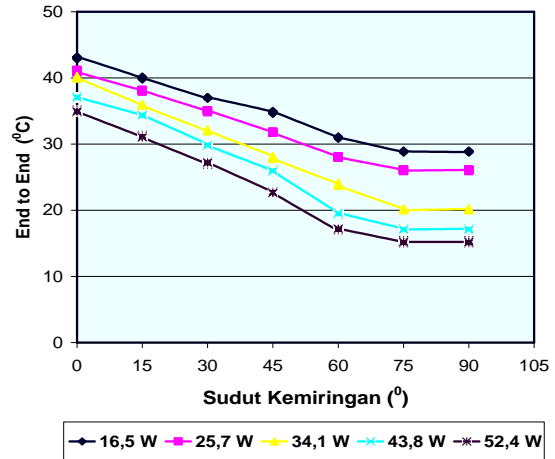
Kalibrasi

Untuk mengetahui pengaruh putaran dalam pengukuran, maka dilakukan pengamatan temperatur pada saat *heat pipe* berputar secara steady dan pada saat berhenti berputar.

Dari kalibrasi data hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium tersebut dan perhitungan dapat diketahui akurasi *non contact infrared thermometer* berkisar pada 1,73 % - 2,09%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pengaruh putaran dalam pengukuran sangat kecil.

Analisa Grafik

1. Hubungan sudut kemiringan dengan *end to end t*



Gambar 5. Hubungan sudut kemiringan dengan *end to end t*

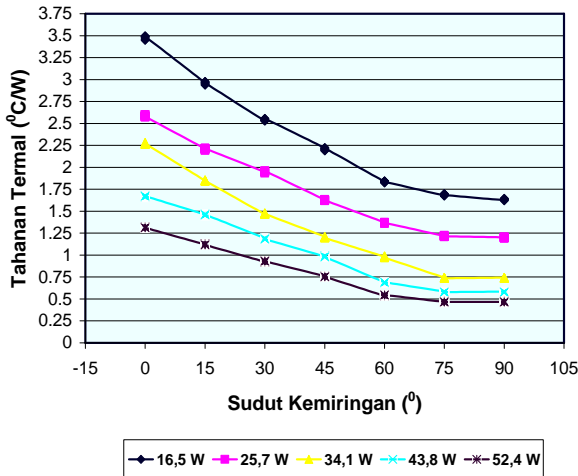
Pada gambar 5 terlihat bahwa perbedaan temperatur di bagian evaporator dan kondensor untuk semua kemiringan pada daya input yang rendah harga *end to end ΔT* cukup tinggi dan semakin besar daya input nilainya semakin kecil. Untuk kemiringan 0 derajat pada semua daya input mempunyai harga *end to end ΔT* terbesar dan pada kemiringan 90 derajat mempunyai harga *end to end ΔT* terkecil. Untuk kemiringan 0 derajat pada daya input 16,5 dengan putaran 1075 Rpm, nilainya tertinggi yaitu 43,1°C dan selanjutnya mengalami penurunan yang pada kemiringan 90 derajat yaitu 28,9°C.

Untuk kemiringan selanjutnya, sudut kemiringan 105°, 120°, 135°, 150°, 165° dan 180°, masing-masing mempunyai nilai *end to end ΔT* sama dengan nilai *end to end ΔT* sudut kemiringan 75°, 60°, 45°, 30°, 15° dan 0°, karena masing-masing sudut tersebut mempunyai posisi yang sama terhadap horisontal. Posisi kemiringan yang mempunyai *end to end ΔT* terkecil adalah yang mempunyai unjuk kerja termal yang terbaik.

Pengaruh kenaikan daya input akan mengakibatkan kenaikan pada temperatur evaporator, dan kenaikan ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan temperatur kondensor. Hal ini disebabkan oleh perbedaan mekanisme perpindahan panas, dimana pada daerah evaporator bagian dasar, tidak berperan aktif dalam perpindahan kalor. Dalam hal ini yang terjadi adalah perpindahan panas konduksi melalui alur, konduksi melalui lapisan cairan pada *meniscus* dan proses penguapan pada *interface* cairan uap. Sedangkan pada daerah kondensor terjadi aliran panas dan alur secara aktif, yaitu pemben-

tukan lapisan film pada alur. Semakin besar daya input maka semakin tipis lapisan film.

2. Hubungan Sudut Kemiringan dengan Tahanan Termal.

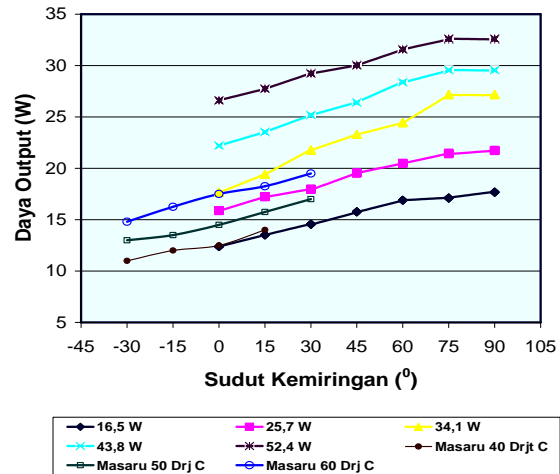


Gambar 6. Hubungan sudut kemiringan dengan tahanan termal

Berdasarkan gambar 6 hubungan sudut kemiringan dengan tahanan termal terlihat, bahwa semakin besar sudut kemiringan pada daya input yang sama dengan putaran konstan 1075 Rpm, akan menurunkan tahanan termal *revolving heat pipe*. Hal ini terlihat pada sudut kemiringan 0° dengan daya input 16,5 Watt mempunyai tahanan termal sebesar 3,49 °C/W, kemudian semakin turun pada sudut 90° yaitu mempunyai nilai tahanan termal sebesar 1,64 °C/W. Hal ini disebabkan semakin besar sudut kemiringan, daya kapilaritas dan kemampuan mengembalikan cairan dari kondensator ke evaporator melalui alur akibat putaran semakin meningkat. Dengan sudut kemiringan yang kecil, pendidihan fluida kerja pada evaporator kurang bekerja dengan baik karena fluida kerja yang seharusnya mendapat pemanasan di evaporator berolak mencapai adiabatik bahkan sampai kondensator sehingga sirkulasi fluida kurang berjalan dengan baik. Oleh karena itu semakin besar sudut kemiringan tahanan termal akan semakin turun. Pada posisi sudut 90 derajat (vertikal) siklus berjalan dengan baik sehingga mempunyai tahanan termal terendah.

Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan Masaru dkk (2001) Hasil penelitian Masaru dkk menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan maka tahanan termal akan semakin menurun. Apabila dibandingkan dengan penelitian ini, tahanan Masaru lebih kecil karena dalam penelitiannya menggunakan dimensi yang sangat kecil.

3. Hubungan Sudut Kemiringan dengan Daya Output (Q_{out})



Gambar 7. Hubungan sudut kemiringan dengan daya output

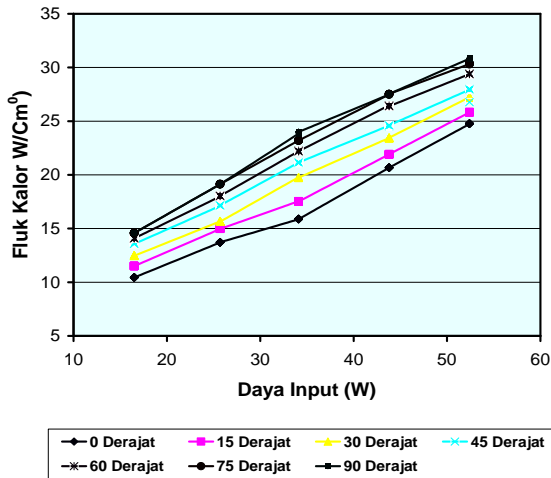
Pada gambar 7 menunjukkan bahwa bertambahnya sudut kemiringan dengan daya input yang sama, akan meningkatkan daya output. Pada daya input 16,5 Watt dengan sudut 0° diperoleh daya output 12,35 Watt, sedang pada sudut 90° diperoleh daya output 15,66 Watt. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya sudut kemiringan akan memperkecil tahanan termal, sehingga akan memperbesar daya output.

Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan Masaru dkk (2001) tentang sudut kemiringan. Hasil penelitian Masaru dkk menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan (terhadap horisontal) maka daya output akan semakin besar. Apabila dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan Masaru, penelitian ini mempunyai hasil yang berbeda karena adanya perbedaan penelitian yang telah dilakukan Masaru dkk yaitu antara lain bahwa penelitian masaru menggunakan dimensi yang relatif lebih kecil dibanding penelitian ini, fluida kerja yang digunakan air sedang penelitian ini menggunakan methanol. Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama juga dengan penelitian Klasing S. K., Thomas S., and Yerkes. (998) dalam penelitiannya tentang *revolving heat pipe* menunjukkan bahwa sudut kemiringan berpengaruh terhadap maksimum *heat transport*.

4. Hubungan Daya Input dengan Fluk Kalor

Pada gambar 8, terlihat bahwa untuk semua variasi sudut kemiringan, kapasitas perpindahan kalor persatuan luasan melintang pipa (fluk kalor) meningkat seiring semakin besar daya input, tetapi kenaikan daya input tidak sebanding

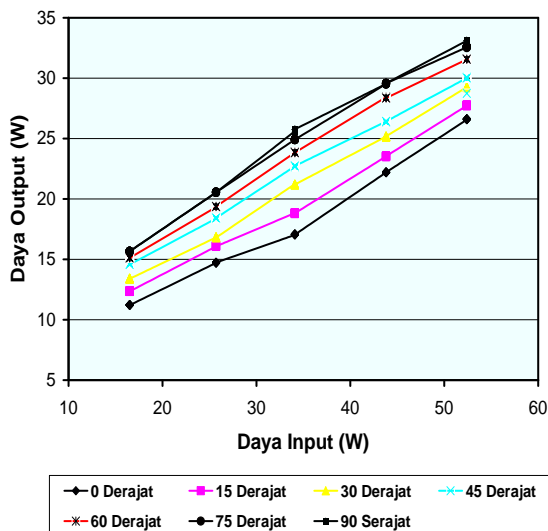
dengan kenaikan fluk kalor. Hal ini ditunjukkan bahwa pada sudut 0° pada daya input 16,5 W mempunyai fluk kalor 11.4961 W/Cm^2 , sedang pada daya input 52,4 W, mempunyai fluk kalor 24.7826 W/Cm^2 .



Gambar 8 Hubungan daya input dengan fluk kalor.

Pada dasarnya, kapasitas perpindahan kalor ini dipengaruhi oleh volume spesifik uap dan kandungan panas laten dari fluida kerja, maka komposisi campuran uap memiliki pengaruh terhadap kapasitas perpindahan kalor. Pengaruh putaran dalam penelitian ini membuat komposisi uap akan semakin baik. Dengan semakin besar sudut kemiringan (terhadap horisontal) maka proses pendidihan (*boiling*) pada evaporator akan semakin baik sehingga dengan semakin besar sudut kemiringan akan meningkatkan fluk kalor.

5. Hubungan Daya Input dengan Daya Output



Gambar 9. Hubungan daya input dengan daya output

Dari gambar 9, terlihat bahwa untuk semua variasi sudut kemiringan, daya output meningkat seiring dengan kenaikan daya input. Hal ini terlihat pada sudut kemiringan 0° dengan daya input 16,5 Watt akan memperoleh daya output 9,54 Watt dan pada daya input 52,4 Watt akan memperoleh daya output 26,61 Watt. Namun kenaikan daya input tidak sepadan dengan kenaikan daya output yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan temperatur udara yang cenderung berubah-ubah dan meningkat. Peningkatan temperatur udara akan menyebabkan penurunan beda temperatur antara temperatur dinding dan temperatur udara ($T_w - T_u$), sehingga jumlah kalor yang dikeluarkan melalui kondensator akan menjadi kecil. Selain itu semakin besar daya input maka koefisien perpindahan kalor konveksi (h) semakin menurun sehingga semakin besar daya input menghasilkan prosentase kenaikan daya output yang kecil. Sistem pada penelitian ini tidak menggunakan isolasi penuh pada daerah evaporator dan kondensator sehingga memungkinkan adanya kebocoran kalor pada kedua daerah tersebut. Secara ideal isolator pada daerah evaporator dan adiabatik harus bertambah sesuai dengan pertambahan panas pada evaporator, tetapi harus dengan mempertimbangkan beban isolator karena semakin berat beban isolator akan mempengaruhi kecepatan putar dari *heat pipe*.

Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama dengan penelitian Gustavo Gutierrez and Tien Chien Jen (2002), yaitu penelitiannya tentang *Axial Rotating Heat Pipe In Drilling Application*. Perbedaannya adalah dalam penelitian Gustavo dkk. langsung diketahui temperatur inputnya, kalau dalam penelitian ini menggunakan daya input. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa semakin besar temperatur evaporator, maka daya output akan semakin meningkat pula, tetapi kenaikan daya input tidak sepadan dengan kenaikan daya output.

Daftar Notasi

- A_t = Luasan total sirip (m^2)
- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}$)
- I = Arus listrik
- L_k = Panjang kondensator (mm)
- Nu = Bilangan nussel
- Pr = Angka Prandtl
- R_{th} = Tahanan thermal ($^{\circ}\text{C/W}$)
- Q_{in} = Panas Yang Masuk (Watt)
- Q_{out} = Kalor masuk (W)
- T_e = Temperatur evaporator ($^{\circ}\text{C}$)
- T_k = Temperatur kondensator ($^{\circ}\text{C}$)
- T_u = Temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$)
- T_w = Temperatur dinding ($^{\circ}\text{C}$)

- V = Tegangan (V)
 ΔP_g = Pressure drop akibat gaya gravitasi (Bar)
 ΔP_c = Pressure drop kapiler (Bar)
 T = Perbedaan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
 y = Effisiensi sirip (%)

5. PENUTUP

Kesimpulan

1. Pada semua daya input, semakin besar sudut kemiringan maka *end to end t* akan semakin kecil.
2. Pada semua daya input, semakin besar sudut kemiringan maka tahanan termal akan menurun. Tahanan termal tertinggi pada sudut kemiringan 0° dengan daya input 16,5 W (3,49 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$), dan terendah pada sudut kemiringan 90° dengan daya input 52,4 W (0,4661 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$).
3. Pada semua daya input, semakin besar sudut kemiringan maka daya output akan semakin naik. Daya output terbesar terjadi pada kemiringan terbesar (90°) dengan daya input terbesar (52,4 W)
4. Semakin besar daya input yang diberikan pada semua variasi kemiringan maka fluk kalor akan semakin meningkat, tetapi kenaikan daya input tidak sebanding dengan kenaikan fluk kalor. Semakin besar kenaikan daya input, semakin kecil kenaikan fluk kalor yang dihasilkan.
5. Semakin besar daya input yang diberikan pada semua variasi kemiringan maka daya output akan semakin meningkat. tetapi kenaikan daya input tidak sebanding dengan daya output. Semakin besar kenaikan daya input, semakin kecil kenaikan daya output yang dihasilkan. Pada sudut kemiringan 0° dengan daya input 16,5 Watt akan memperoleh daya output 9,54 Watt dan pada daya input 52,4 Watt akan memperoleh daya output 26,61 Watt.

Saran-saran

1. Perlu dilakukan penelitian yang berhubungan dengan penggunaan fluida selain methanol dengan bentuk groove yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi selisih panjang jari-jari pusat putaran terhadap evaporator dan kondensor.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Adya, Alisha Ali. (2004). *Desain and Analisis of a Compact Two Phase cooling system for a Laptop Computer*. Tesis. Georgia Institute of Technology

2. Castle, M.R., Tomas, SK, Yerkes K.L. (2000). *The Effect Of Working Fluid Inventory On The Performance of Revolving Helically-Grooved Heat Pipe*, p.1-13. Proc of NH TC'00, 34th National Heat Transfer Conference, Agust 20-22, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
3. Dunn, P.D. and D.A. Reay. (1994). *Heat pipe*, Fourth Edition, Pergamon Press, Elsevier Science Ltd.
4. Faghri, A. (1995). *Heat Pipe Science and Technology*, Taylor and Francis.
5. Gustavo, Gutierrez and Tien Chien Jen. (2002). *Axial Rotating Heat Pipe In Drilling Application*. 9th Latin American in Heat and Mass Transfer, San Juan, Puerto Rico.
6. Holman J.P. (1986). *Heat Transfer*. Mc. Graw Hill, Ltd. E. Jasjfi (penerjemah). *Perpindahan Kalor*, Edisi keempat. Erlangga, Jakarta.
7. Hopkin, R., Faghri, A. and Krustalev, D. (1999). Flat Miniatur Heat Pipe With Micro Capillary Grooves, *Journal of Heat Transfer*, Vol 121 No102, pp102 – 109,
8. Incopera. F.P. and De Witt, D.P. (1986). *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, Fourth Edition, John Wiley and Sons, New York.
9. Klasing, S. K., Thomas S., and Yerkes. (1998). Prediction Of The Operating Limits of Revolving Helically-Grooved Heat Pipe, Wright State University, Dayton.
10. Peterson, G.P. (1994). *An Introduction to Heat Pipe*, John Wiley and Sons, Inc.
11. Sathaye, N.D. (2000). *Incorporation of Heat Pipe Into Engine Air Pre Cooling*, Master Thesis, B.E., University of Pune.
12. Streeter, V.L. Fluid Mechanic. Mc.Graw Hill, Inc. Benjamin (penerjemah). (1999). *Mekanika Fluida*. Edisi keenam. Erlangga, Jakarta.
13. Santoso. (2003). *Pengaruh Konsentrasi Metanol terhadap Kinerja Thermal Pipa Kalor Alur Memanjang*, Tesis Universitas Brawijaya, Malang.
14. Tanongkiat. et al. (2000). Thermal Performance Enhancement Of Thermoshipon Heat Pipe With Binary Working Fluid, *Experimental heat transfer*, 13 : 137-152.
15. Xie, M, et al. (1995). Thermal Solution of Pentium Processor in TCP in Note Books and Sub-notebooks. Dipresentasikan ETC ke 45, Las Vegas Nevada.