

Kaji Eksperimental Karakteristik Pipa Kalor Untuk Berbagai Kemiringan

Nugroho Gama Yoga

Jurusan Teknik Mesin UNJ Rawamangun

Abdurrachim

Departemen Teknik Mesin ITB

Abstrak

Pipa kalor tembaga diameter luar 4,76 mm, tebal 0,5 mm dengan panjang 360 mm dengan fluida kerja air dan insert stainless steel mesh 50 telah dibuat dan dievaluasi secara eksperimental. Pada percobaan pendahuluan pendinginan kondenser dilakukan dengan modus konveksi bebas bermedia udara untuk mengetahui perilaku empat pipa kalor dengan rasio pengisian fluida yang berbeda. Pengujian dilanjutkan dengan pendinginan kondenser oleh air pendingin secara konveksi paksa dengan posisi pipa kalor dari vertikal hingga horizontal.

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa kapasitas perpindahan panas pipa kalor dipengaruhi oleh kemiringan pipa kalor. Dari analisa perpindahan panas diperoleh perbandingan konduktivitas termal pipa kalor terhadap pipa pejal adalah sebesar 950 kali pada posisi horizontal dengan input daya sebesar 45 Watt, sedangkan pada posisi vertikal hanya mencapai 550 kali pada input daya 92 Watt dan rasio ini masih dapat ditingkatkan dengan menambah daya input pada pemanas.

Kata kunci : pipa kalor, kemiringan, konduktivitas.

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan alat pemindah panas yang efisien dan kompak tetapi mampu menanggung beban panas yang tinggi saat ini semakin besar. Salah satu solusi yang memenuhi tuntutan tersebut adalah pipa kalor.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan karakteristik perpindahan panas pada pipa kalor pada berbagai rasio pengisian, untuk kondisi perpindahan panas secara konveksi bebas, mengetahui performansi pipa kalor dengan berbagai sudut inklinasi, yaitu waktu transien, distribusi temperatur dan kapasitas perpindahan panas. Penelitian ini dilaksanakan di laksanakan di lab thermal engineering, Teknik Mesin ITB.

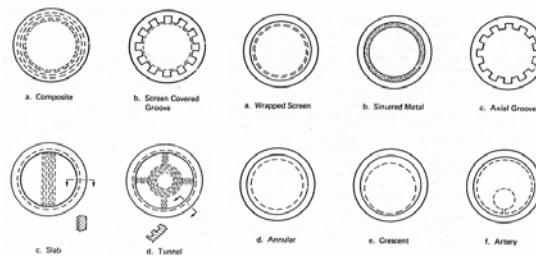
Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. pipa yang digunakan hanya satu jenis dari bahan tembaga dengan panjang 360 mm, diameter 4,76 mm, dan tebal 0,5 mm,
2. fluida kerja adalah air,
3. struktur sumbu (*wick*) adalah stainless steel mesh 50,
4. posisi pipa kalor bervariasi dari posisi vertikal hingga posisi horizontal dengan perbedaan sudut 15° .

2. Struktur dan Prinsip Kerja

Secara fisik pipa kalor terdiri dari pipa berongga yang tertutup di kedua ujungnya, yang di dalamnya berisi sumbu dan fluida kerja. Daerah atau region pipa kalor secara aksial umumnya terbagi tiga, yaitu bagian evaporator, adiabatik, dan kondenser. Daerah evaporator adalah tempat pipa kalor menerima panas yang kemudian dilepaskan kembali di daerah kondenser.

Sedangkan pipa kalor secara radial terdiri dari pipa/bejana, struktur sumbu dan fluida kerja. Pipa sebagai wadah dan media terjadinya perpindahan panas. Struktur sumbu yang terdapat di dalam pipa yang dalam operasinya berfungsi sebagai media yang dilalui fluida kerja dalam fasa cair untuk kembali ke evaporator, berbagai jenis struktur sumbu yang sering digunakan seperti pada Gambar 2.1. Fluida kerja sebagai media pengantar panas dari bagian evaporator menuju kondenser.



Gambar 2.1 Berbagai jenis struktur sumbu

Prinsip kerja

Operasi pipa kalor dimulai dengan panas masuk melalui bagian evaporator, merambat melewati dinding pipa secara radial kemudian memanasi dan menyebabkan fluida kerja yang ada di permukaan sumbu menguap. Uap yang terbentuk mengalir ke ujung lain dari pipa kalor melalui rongga uap yang berada di dalam dengan kecepatan yang sangat tinggi yaitu mendekati kecepatan suara. Sampai di kondenser panas dari uap ini diambil oleh pendingin melalui dinding pipa sehingga uap ini terkondensasi, kondensat yang terbentuk pada dinding pipa dan permukaan struktur sumbu kembali ke evaporator melalui struktur sumbu.

Persamaan untuk menghitung panas yang dipindahkan dari beda temperatur air pendingin :

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \quad (2.1)$$

dengan \dot{m} = laju aliran air pendingin, kg/s

c_p = panas jenis air pendingin

ΔT =beda temperatur air pendingin, $^{\circ}\text{C}$

Dari data yang diperoleh juga dapat dihitung beda temperatur evaporator dan kondenser rata-rata untuk menghitung konduktivitas termal pipa kalor. Persamaan untuk menghitung konduktivitas termal pipa kalor :

$$k = Q \Delta x / (A \cdot \Delta T_p) \quad (2.2)$$

dengan ΔT_p = beda temperatur antara evaporator dan kondenser

3. Desain Pipa Kalor

Panjang daerah evaporator 12 cm, sedangkan bagian pipa kalor lain adalah kondenser untuk kondisi perpindahan panas konveksi bebas, sedangkan untuk konveksi paksa panjang kondenser 12 cm. Pengukuran temperatur menggunakan termokopel yang dilekatkan pada pipa dengan posisi diukur dari pangkal, yaitu 2 cm (evaporator), 16 cm, 20 cm (daerah adiabatik), 28 cm, 32 cm, 36 cm (kondenser), juga pada air pendingin yang masuk dan keluar.

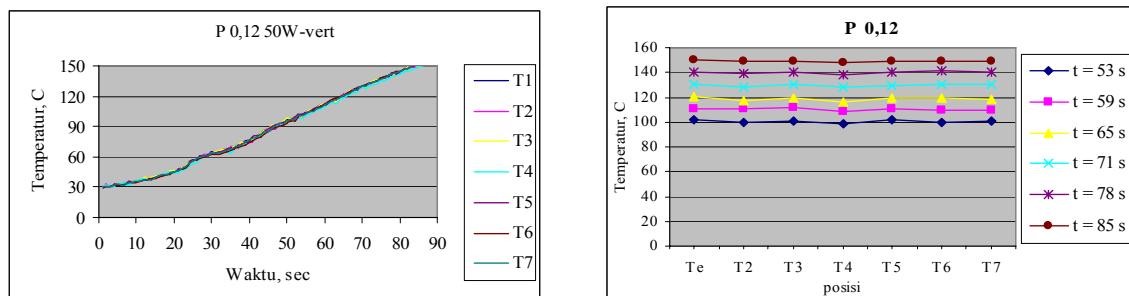


Gambar 3.1 Pipa kalor yang diuji.

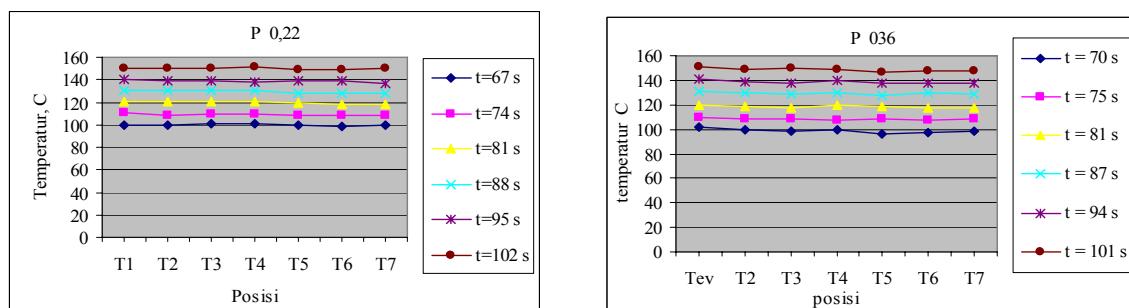
4. Hasil Pengujian

4.1 Pendinginan kondenser secara konveksi bebas oleh udara

Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 0,12; 0,22; 0,36 dan 0,43 pada posisi vertikal dan horizontal dengan kondenser dibiarkan terbuka. Data temperatur selama operasi dan untuk mengetahui distribusi temperatur sepanjang pipa kalor diambil pada saat tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 dengan cara serupa untuk pipa kalor dengan rasio pengisian yang lain.



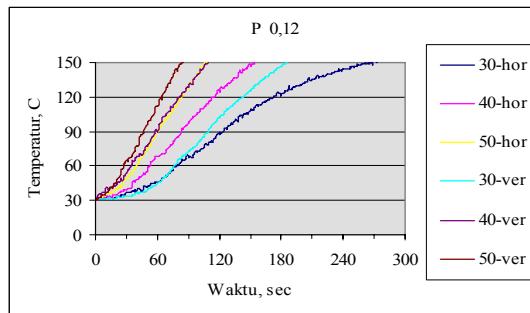
Gambar 4.1 Distribusi temperatur pipa kalor dengan rasio pengisian 0,12 untuk beberapa waktu yang berbeda.



Gambar 4.2 Distribusi temperatur pipa kalor dengan rasio pengisian 0,22 dan 0,36 untuk beberapa waktu yang berbeda.

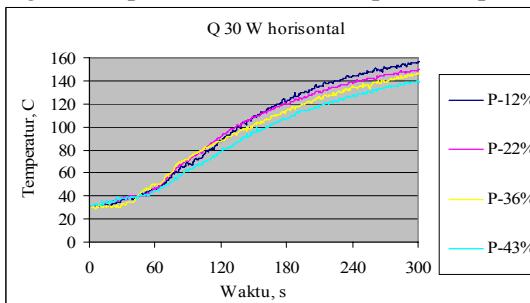
Pipa dengan rasio pengisian 0,12 ; 0,22 dan 0,36 distribusi temperatur sepanjang dinding pipa hampir sama. Keseragaman temperatur ini disebabkan oleh jumlah fluida kerja di dalam pipa sehingga mempengaruhi kecepatan fluida kerja dalam bersirkulasi

Pengaruh posisi pipa kalor dan beban panas terhadap distribusi temperatur kondenser untuk keadaan transien dari masing-masing pipa kalor untuk tempat yang sama dalam hal ini pada titik yang berjarak 2 cm dari evaporator ditunjukkan pada Gambar 4.3. Beban panas yang diberikan ke evaporator 30W, 40W, dan 50W sedangkan posisi pipa kalor horizontal dan vertikal.



Gambar 4.3 Variasi beban panas untuk pipa kalor dengan rasio pengisian 0,12.

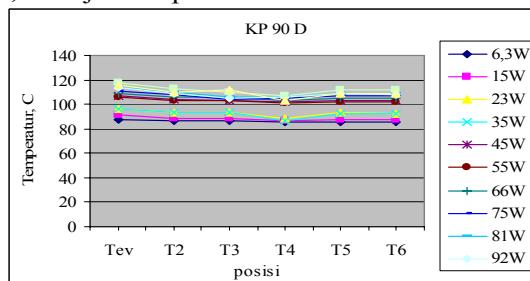
Pipa kalor dengan rasio pengisian yang lain menunjukkan perilaku yang serupa, perbedaan dari keempat pipa ditunjukkan dengan kecepatan memindahkan panas, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Temperatur pipa kalor untuk posisi horisontal, Q 30W dari keempat pipa.

4.2 Pendinginan kondenser secara konveksi paksa oleh air pendingin

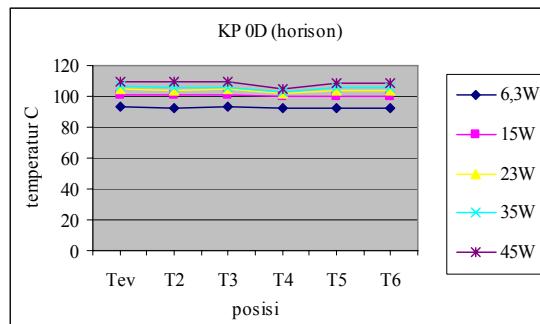
Pengujian pipa kalor untuk perpindahan panas konveksi paksa dengan cara pada selubung kondenser dialirkan air pendingin, prinsip perpindahan panas pada penukar kalor jenis *paralel flow*, panjang selubung kondenser 12 cm. Distribusi temperatur pipa untuk keadaan tunak untuk kemiringan pipa posisi vertikal dan horisontal, ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



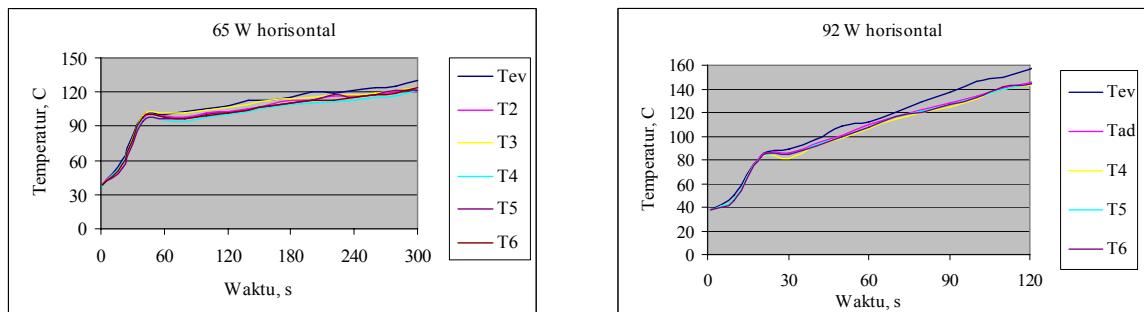
Gambar 4.5 Distribusi temperatur pipa kalor pada posisi 90°.

Temperatur T₄ lebih rendah dibanding temperatur yang lain, karena posisi T₄ tepat pada masukan air pendingin kondenser yang bertemperatur jauh lebih rendah.

Posisi horisontal daya listrik yang masuk ke pipa kalor hanya sampai 45W, karena pipa kalor tidak mampu lagi memindahkan beban panas yang lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan temperatur sepanjang pipa kalor akan naik terus dan tidak mencapai keadaan tunak, seperti terlihat pada Gambar 4.7, dengan daya masukan 92W terlihat kecepatan naik temperatur pipa kalor lebih tinggi daripada daya masukan 65 W.

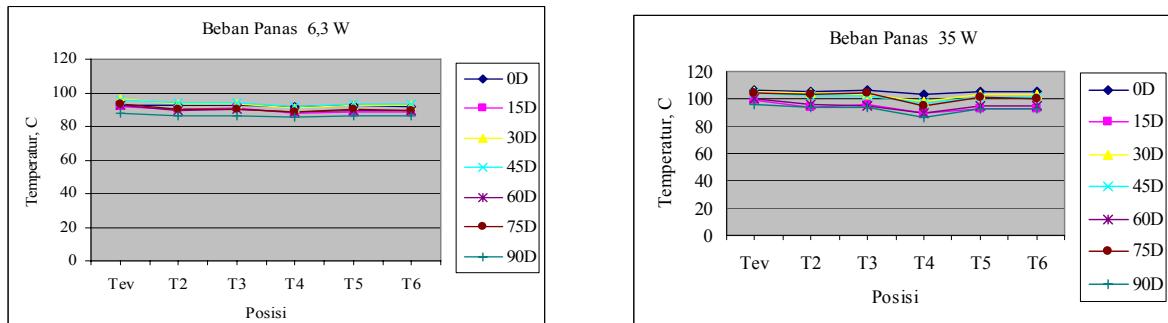


Gambar 4.6 Distribusi temperatur pipa kalor pada posisi horisontal.



Gambar 4.7 Distribusi temperatur pipa kalor dengan daya lebih, 65W dan 92W pada posisi horisontal.

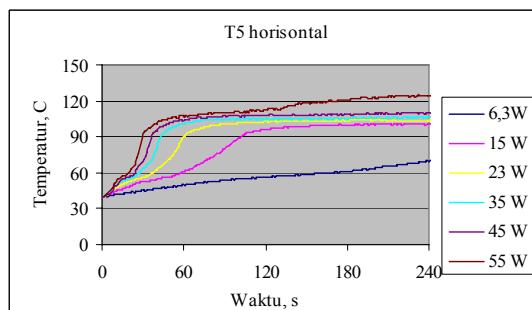
Suplai daya yang sama tidak selalu menghasilkan distribusi temperatur pipa kalor yang sama pula untuk posisi sudut berbeda. Perubahan posisi pipa kalor dari vertikal ke horisontal tidak menaikkan temperatur operasi pipa kalor secara signifikan, meskipun ada kecenderungan naik, seperti terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Distribusi temperatur pipa kalor pada input daya 6,3 W dan 35 W.

4.3 Keadaan Transien

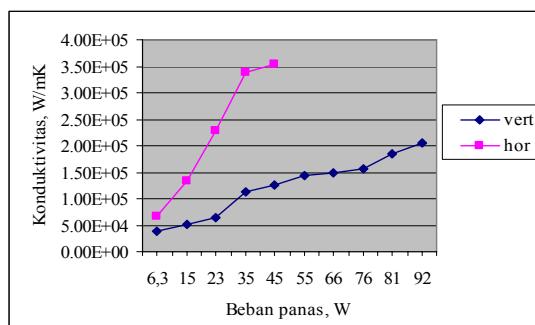
Pengaruh variasi beban panas terlihat pada kecepatan waktu transien. Semakin besar panas yang masuk maka semakin cepat dan banyak uap terbentuk, maka panas cepat dipindahkan dari evaporator ke kondenser.



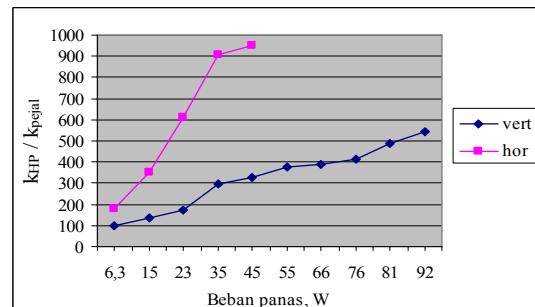
Gambar 4.9 Perbandingan temperatur T_5 (kondenser) pipa kalor posisi horisontal.

4.4 Konduktivitas termal pipa kalor

Dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 dapat dihitung konduktivitas termal pipa kalor dan pada penelitian ini didapatkan nilai yang sangat tinggi seperti terlihat pada Gambar 4.10. Peningkatan suplai daya akan meningkatkan konduktivitas termal pipa kalor, hal ini karena konduktivitas termal sebanding dengan laju perpindahan panas dan berbanding terbalik dengan beda temperatur. Pipa kalor dapat memindahkan panas dalam jumlah yang sangat besar karena adanya fluida kerja. Dibanding dengan batang pejal dengan dimensi dan material yang sama maka pipa kalor dapat memindahkan sampai 950 kali lebih banyak, atau mempunyai konduktivitas termal 950 kali lebih tinggi. Perbandingan konduktivitas termal antara pipa kalor dan batang pejal seperti pada Gambar 4.11. Pada posisi horisontal konduktivitas termal pipa kalor sangat tinggi dibanding posisi vertikal tetapi kemampuan maksimal pipa kalor dalam memindahkan panas pada posisi ini kecil (45W). Sedangkan pada posisi vertikal konduktivitas termal kecil tetapi kemampuan memindahkan panas tinggi, yaitu lebih dari 92 W.



Gambar 4.10 Konduktivitas termal pipa kalor pada posisi horisontal dan vertikal.



Gambar 4.11 Perbandingan konduktivitas termal pipa kalor dengan batang pejal.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan, yaitu :

1. Pipa kalor dengan fluida kerja air masih dapat beroperasi dengan baik untuk rasio pengisian dari 0,12 sampai 0,36.
2. Untuk konveksi paksa menggunakan pipa kalor dengan rasio pengisian 0,22 diperoleh :
 - a) kemiringan pipa kalor berpengaruh pada kapasitas perpindahan panas, semakin tegak pipa kalor semakin tinggi kapasitas perpindahan panasnya,
 - b) kemiringan pipa kalor berpengaruh pada kecepatan melewati waktu transien, semakin tegak pipa kalor semakin cepat menempuh waktu transien,
 - c) kemiringan pipa kalor tidak berpengaruh kuat terhadap temperatur operasi.

6. Daftar Pustakata

1. Arora, C.P., (2000), *Refrigeration and Air Conditioning*, Second Edition, McGraw-Hill International, Singapore.
2. Chi, S.W., (1976), *Heat Pipe Theory and Practice*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
3. Collier, John Gordon., (1981), *Convective Boiling and Condensation*, Second Edition, McGraw-Hill Book Company, London.
4. Dunn, P., and Reay, D A, (1982), *Heat Pipes*, Third Edition, Pergamon Press, Oxford United Kingdom.
5. Engineering Science Data Unit, 80013, (1980), *Heat Pipe General Information*, London United Kingdom.
6. Enertron, Portable Electronics Passive Cooling, Enertron International Inc, AZ-USA
7. Glass, David E., and Merrigan, Michael A., Sena, J Tom (1998), *Fabrication and Testing of Mo-Re Heat Pipe Embedded in Carbon/Carbon*, NASA, Langley Research Center, Hampton, Virginia.
8. Hewitt, G.F., Shires, Bott, (2000), *Process Heat Transfer*, Begell House Inc, New York USA.
9. Holman, J.P. (1986), *Heat Transfer*, Sixth Edition, McGraw-Hill, Ltd., Inc, New York USA.
10. Holman, J.P. (1984), *Experimental Methods for Engineers*, Fourth Edition, McGraw- Hill, Ltd., Inc, New York.
11. Incropera, Frank P, and De Witt, David P., (1990), *Introduction to Heat Transfer*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York.
12. Rohsenow, Warren M., (1998), *Handbook of Heat Transfer*, Third Edition, McGraw- Hill, Ltd., Inc, New York.
13. Sembiring, Tarlo, (2005), *Kajian Peningkatan Perpindahan Panas dengan Pipa Kalor yang Beroperasi pada Temperatur Menengah*, Thesis ITB, Bandung
14. Webb, Ralph L., (1994), *Principles of Enhanced Heat Transfer*, John Wiley & Sons Inc, New York.