

PENGARUH PANJANG KONDENSOR TERHADAP KINERJA TERMAL *HEAT PIPE*

Arif Rochman Fachrudin

arfachrudin@gmail.com

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

Ringkasan

Heat pipe merupakan salah satu alat penukar kalor yang memungkinkan pemindahan sejumlah kalor melalui luas permukaan yang sangat kecil. *Heat Pipe* mempunyai peran penting dalam sistem pendinginan salah satunya 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. Fluida kerja dimasukkan kedalam pipa yang berfungsi membawa panas dari evaporator dan melepaskannya di kondensor. Panas dari komponen yang didinginkan diserap di bagian evaporator dan dipindahkan ke bagian kondensor dimana panas dilepaskan ke lingkungan luar. *Heat pipe* mempunyai prinsip yang hampir sama dengan *thermosyphon*, perbedaannya adalah di *heat pipe* menggunakan dinding *wick*.

Kegiatan penelitian ini bertujuan mengetahui sejauh mana kinerja termal dari *heat pipe* sebagai penukar kalor dengan variasi panjang kondensor. *Heat Pipe* didesain dengan variasi panjang kondensor sebesar 44 cm, 66 cm, 88 cm, 110 cm, dan 132 cm..

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, tahanan thermal tertinggi pada kondensor dengan panjang terpendek pada temperatur 400C (13,80C/W) dan terendah pada panjang kondensor terpanjang pada temperatur 1200 C(0,80C/W). Pada semua temperatur, semua variasi panjang kondensor maka daya output dan fluks kalor akan semakin besar. Pada panjang kondensor ukuran yang sama dengan evaporator, semakin tinggi temperatur, maka semakin besar fluks kalor dan daya output. Proses pada eksperimen ini paling efektif pada panjang kondensor 1,25 kali (132 cm) dari panjang panjang evaporator, karena setelahnya nilai tahanan termal dan daya output akan mengalami kecernderungan tetap.

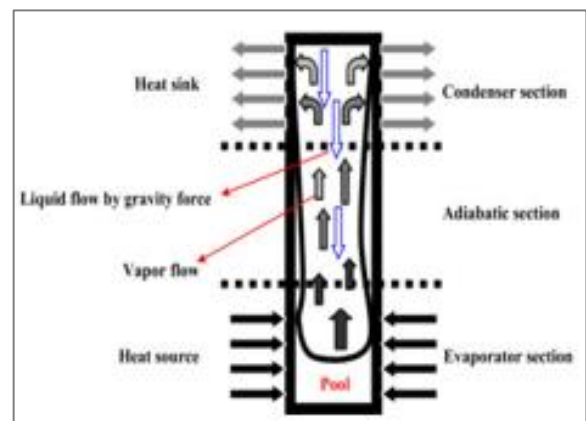
Kata Kunci : *Heat pipe*, kondensor, penukar panas

1. PENDAHULUAN

Sistem pendingin dalam bidang *mechanic* maupun *electric* sangat dibutuhkan untuk melindungi komponennya dari kerusakan. Sistem pendinginan membuat 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 dibawa kebagian kondensor, yaitu bagian yang melepas panas ke lingkungan. Bagian adiabatik terletak diantara evaporator dan kondensor sebagai bagian yang memisahkan bagian evaporator dan kondensor yang terisolasi bagian luar sehingga tidak ada pertukaran temperatur dengan lingkungan. Fluida kerja diisikan kedalam *heat pipe* yang berfungsi untuk membawa panas dari evaporator ke kondensor.

Proses kerja *heat pipe* bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Kerja *Heat Pipe*.
Sumber :Sathaye(2000:180)

Beberapa penelitian mengenai *heat pipe* telah banyak dilakukan untuk memperoleh peningkatan kinerja thermalnya diantaranya dengan memvariasi fluida, bentuk kondensor, sudut kemiringan, volume fluida, diputar secara

rotasi maupun revolusi. A. K. Mozumder, dkk (2010) melakukan penelitian dengan memvariasi volume fluida pada heat pipe dan menyimpulkan bahwa prosentase volume fluida pada kondensor sangat mempengaruhi kinerja thermal heat pipe, yaitu semakin besar prosentase volume fluida kerja maka kinerja thermal akan naik. Susilo H.S (2004) dan Masaru (2001) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa sudut kemiringan berpengaruh terhadap kinerja termal heat pipe. Pada beberapa penelitian sebelumnya belum ada informasi bagaimana fenomena pada heat pipe dengan berbagai dimensi dan dengan variasi bagian adiabatik.

Meng-Chang Tsai, dkk (2007) melakukan penelitian pada *loop thermosypon*, dengan menggunakan evaporator dinding wick dan tanpa wick. Menurut Meng-Chang 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. Menurut Meena efektivitas Efektivitas perpindahan panas tertinggi dicapai pada kecepatan udara terendah dan pada temperatur tertinggi. Heri S. (2011), melakukan penelitian campuran konsentrasi aseton dan methanol pada *heat pipe*. Heri menyimpulkan bahwa campuran konsentrasi aseton dan methanol berpengaruh pada unjuk kerja *heat pipe*, yaitu semakin besar konsentrasi aseton unjuk kerja semakin bagus.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya belum dijelaskan secara mendetail bagaimana pengaruh panjang kondensor terhadap kinerja termal *heat pipe*. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi pengaruh jenis fluida kerja terhadap kinerja *heat pipe*.

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.

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 ΔT), tahanan termal, kapasitas perpindahan kalor (fluk kalor) dan daya output.

Secara teori tahanan termal (R_{th}) pipa kalor dapat dihitung dengan persamaan 1.(Hopkin et al., 1999) :

$$R_{th} = \frac{T_e - T_{kl}}{Q_{out}} \dots\dots\dots 1$$

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 pada persamaan 2. (Holman, 1994 : 60):

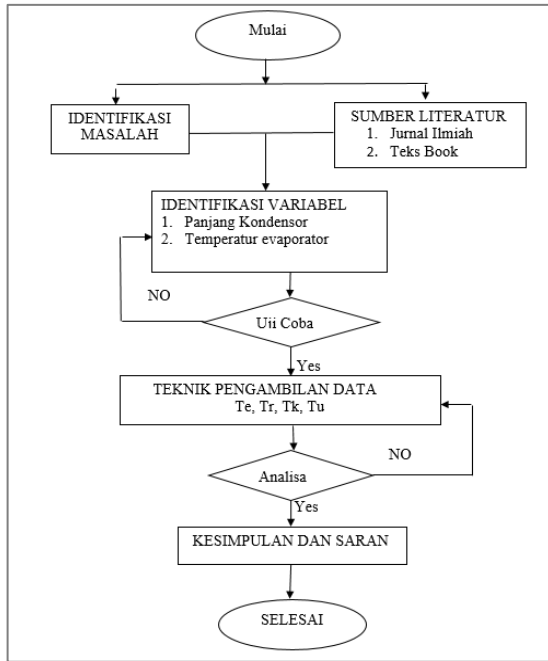
$$Q_{out} = \eta \cdot A \cdot h \cdot (T_w - T_u) \dots\dots\dots 2$$

Angka Nusselt diperoleh dari (Holman 1994:252) :

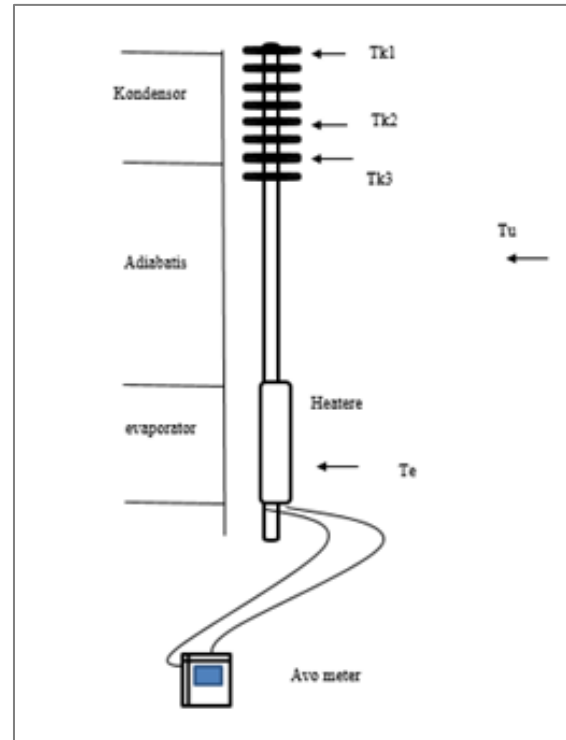
$$Nud = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \dots\dots\dots 3$$

3. METODE PENELITIAN

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan panjang kondensor pada unjuk kerja heat pipe, sehingga untuk mendapatkan variasi parameter – parameter tersebut di atas dilakukan dengan jalan memvariasi fluida kerja yang digunakan sebagai penukar panas. Selain itu dilakukan variasi temperatur untuk mengetahui unjuk kerja heat pipe. Alur penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian



Gambar 3 Alat Uji Heat Pipe

Prosedur Pengambilan Data

Alat uji *heat pipe* ditunjukkan pada gambar 3, dan spesifikasi dari *heat pipe* ditunjukkan pada Tabel 1.

Sebagai langkah awal dalam penelitian yaitu dengan melakukan Mengisi fluida kerja air ke dalam alat uji *heat pipe*, menghidupkan power dan mengatur kedudukan auto travo, sehingga diperoleh temperatur 40°C. Setelah kondisi stedi mencatat data temperatur di evaporator (Te), temperatur kondensor (Tk1, Tk2, Tk3), dan temperatur udara (Tu) masing – masing 10 kali dengan selang waktu 30 detik.

Ada 5 variasi panjang kondensor menjadi obyek penelitian ini sebesar 44 cm, 66 cm, 88 cm, 110 cm dan 132 cm. Temperatur diberikan adalah 40, 60, 80, 100 dan 120° C. Pengambilan data temperatur di evaporator (Te), kondensor (Tk1, Tk2, Tk3), dan temperatur udara (Tu) dilakukan setelah kondisi stedi, yaitu kurang lebih 120 menit setelah power dihidupkan, dan untuk daya input selanjutnya berselang kurang lebih 30 menit.

Tabel 1. Spesifikasi Heat Pipe

SPEKIFIKASI	KET
Panjang total (mm)	400
Panjang kondensor (mm)	divariasi
Panjang adiabatik (mm)	168
Panjang Evaporator (mm)	88
Diameter Pipa (mm)	9,52
Tebal Pipa (mm)	0,5
Lebar Groove (mm)	0,5
Jumlah Groove	8
Kedalaman Groove	0,5
Fluida kerja	Air
Jumlah sirip	8
Diameter sirip	38
Bahan Pipa	Cu

Daya input dihitung berdasarkan tegangan dan arus yang diterima oleh pemanas (heater), yaitu bisa dihitung dengan persamaan 4 :

$$Q_{in} = V \cdot I \dots\dots 4$$

Pengambilan data temperatur adalah pada bagian, evaporator (Te), kondensor (Tk1, Tk2, Tk3), dan temperatur ruangan/udara (Tu). Pengambilan data dilakukan setelah kondisi kerja *heat pipe* stabil, yaitu kurang lebih 30 menit setelah *heat pipe* mulai beroperasi. Pengukuran dilakukan 3 kali dan setiap temperatur diambil datanya 10 data dengan jeda pengambilan data 5 menit, sehingga setiap temperatur memperoleh 30 data.

Untuk setiap panjang kondensor berbeda, diberikan 5 variasi temperatur dan untuk panjang kondensor berikutnya diulang dari awal seperti sebelumnya. Hasil penelitian ini digambarkan dalam suatu grafik.

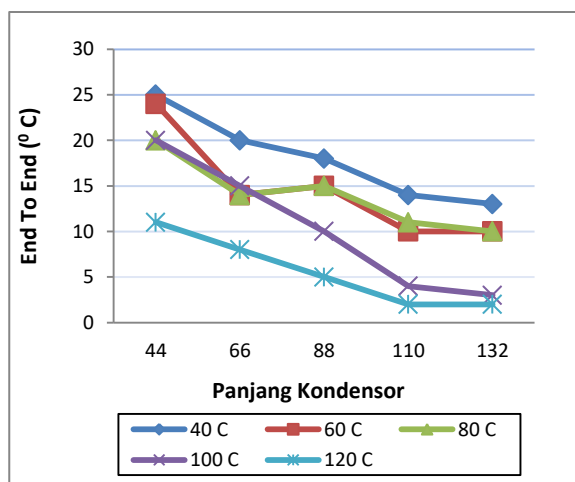
Variabel penelitian adalah :

1. Variasi panjang kondensor (44 cm, 66 cm, 88 cm, 110 cm dan 132 cm)
2. Temperatur divariasikan dari 40°C, 60°C, 80°C, 100°C sampai 120°C

End to end ΔT [°C], Tahanan termal, Fluks Kalor dan Daya Input.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Panjang Kondensor dengan end to end. ΔT

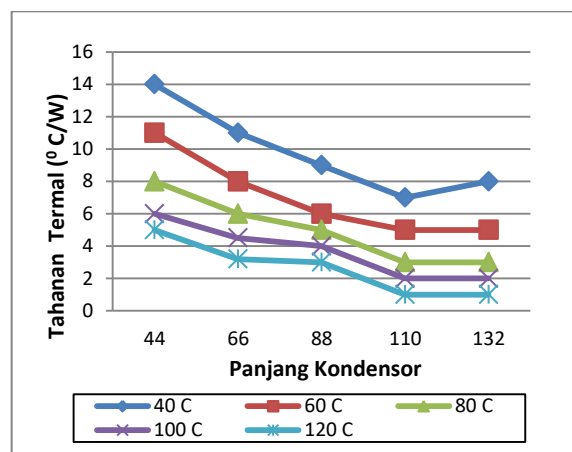


Gambar 4 Hubungan Panjang Kondensor dengan end to end. ΔT

Berdasarkan gambar 4 menunjukkan bahwa perbedaan temperatur (end to end ΔT) dibagian evaporator dan kondensor pada semua kondisi dengan variasi panjang kondensor pada temperatur rendah harga end to end ΔT nya cukup tinggi, dan semakin tinggi temperatur maka semakin kecil. Untuk panjang kondensor terpendek (44 cm) pada semua temperatur mempunyai harga end to end ΔT terbesar (250 C) Sebaliknya semakin kecenderungan tetap ketika kondensor panjang ditambah (130) pada suhu 40° C. Ini berlaku untuk temperatur yang lainnya.

Pengaruh kenaikan temperatur ini menyebabkan meningkatnya temperatur evaporator, dan kenaikan ini relatif lebih kecil dibanding dengan kenaikan yang terjadi di kondensor. Dengan bertambahnya panjang kondensor maka, mekanisme perpindahan panas yang di bawa oleh fluida kerja dari evaporator ke kondensor akan semakin besar semakin efektif, sehingga mempunyai efisiensi thermalnya semakin besar.

Hubungan Panjang Kondensor terhadap tahanan Thermal



Gambar 5 Hubungan Jenis Fluida Fluida kerja terhadap tahanan Thermal

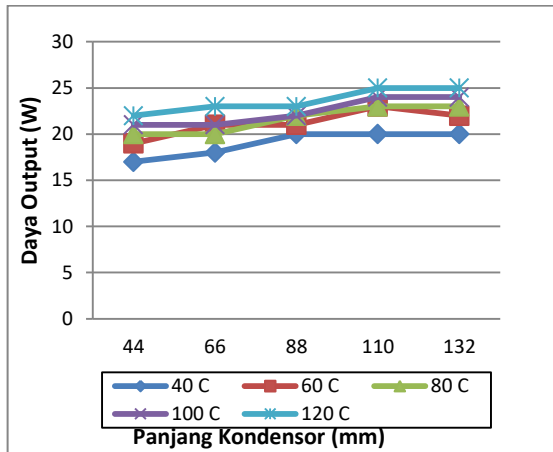
Pada gambar 5, hubungan antara panjang kondensor dengan tahanan thermal terlihat bahwa perbedaan panjang kondensor pada temperatur yang sama akan menyebabkan tahanan thermal turun. Hal ini terlihat panjang kondensor setengah dari panjang evaporator yaitu 44 cm dengan temperatur 60°C mempunyai tahanan thermal 11 °C/W kemudian semakin turun pada panjang fluida semakin panjang yaitu dengan nilai tahanan thermal 5 °C/W.

Melihat fenomena diatas disebabkan semakin panjang kondensor, proses mekanisme fluida semakin pendek untuk mengembalikan fluida dari kondensor ke evaporator, sehingga perpindahan panas berjalan semakin efektif. Selain itu panjang kondensor, proses perpindahan panas yang dibawa fluida yang bekerja untuk memindahkan panas semakin besar sehingga tahanan thermalnya cenderung akan semakin kecil.

Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama dengan penelitian dari Mozumder dkk dimana dalam penelitian itu menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar panjang kondensor pada evaporator maka tahanan thermal akan semakin turun. Dibandingkan dengan penelitian ini, penelitian

terdahulu menggunakan *heat pipe* dengan dimensi lebih kecil, fluida kerja berbeda dan range temperatur uji masih dibawah 80°C . Untuk penelitian ini range temperatur sampai 120°C , dimensi lebih besar dan menggunakan fluida kerja yang lain.

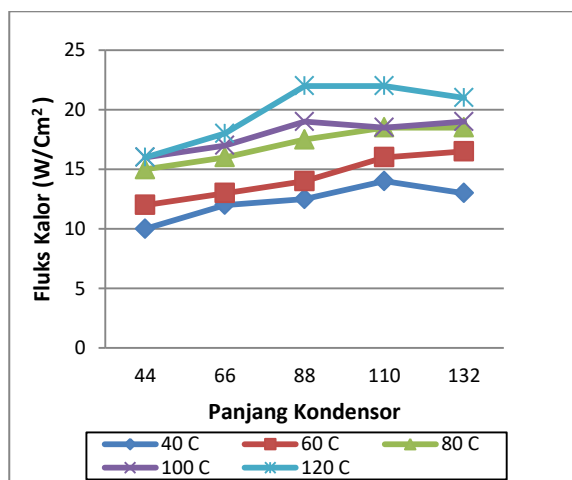
Hubungan Panjang Kondensor dengan Daya Output (Q_{out})



Gambar 6. Hubungan Panjang Kondensor dengan Daya Output (Q_{out})

Gambar 6. menunjukkan bahwa perbedaan panjang kondensor dengan temperatur yang sama akan meningkatkan daya output. Pada temperatur 120°C pada panjang kondensor 44 cm diperoleh daya output 22 W sedang pada panjang 132 cm diperoleh daya output 25 W. Hal ini disebabkan dengan mekanisme perpindahan panas yang semakin besar dengan panjang kondensor lebih panjang sehingga daya perpindahan semakin besar.

Hubungan Temperatur dengan Fluks Kalor



Gambar 7. Hubungan Temperatur dengan Fluks Kalor

Pada gambar 7 terlihat bahwa untuk semua variasi panjang kondensor, kapasitas perpindahan perpindahan kalor persatuan luas melintang pipa (fluks kalor) meningkat seiring dengan semakin besar temperatur. Hal ini ditunjukkan bahwa pada panjang kondensor 88 cm pada temperatur 60°C mempunyai fluks kalor $12,5\text{ W/cm}^2$ sedangkan pada temperatur 120°C mempunyai fluks kalor 22 W/Cm^2 . Gambar diatas juga menunjukkan bahwa semakin besar panjang kondensor semakin besar fluks kalor. Hal ini ditunjukkan pada temperatur yang sama, fluks kalor terbesar pada pada panjang kondensor yang terpanjang dan semakin menurun pada panjang kondensor yang semakin kecil. Hal ini dipegaruhi oleh proses perpindahan panas yang lebih banyak terjadi pada kondensor yang semakin panjang. Hal ini menyebabkan fluks kalor semakin besar.

5. PENUTUP Kesimpulan

1. Panjang Kondensor untuk semua temperatur, *end to end* ΔT akan berpengaruh. *End to end* ΔT tertinggi pada panjang kondensor terpendek (44 cm) yaitu (25°C) dan semakin turun pada temperatur 120°C pada panjang kondensor 110 cm (9°C). Penambahan panjang kondensor setelah 110 cm kurang efektif karena mempunyai kecenderungan nilai yang tetap.
2. Pada semua temperatur dengan panjang kondensor yang berbeda, dari panjang 44 cm, 66 cm, 88 cm, 110 cm, dan 132 cm maka tahanan thermal akan menurun. Tahanan thermal tertinggi pada panjang kondensor terpendek pada temperatur 40°C ($13,8^{\circ}\text{C/W}$) dan terendah pada panjang kondensor terpanjang pada temperatur 120°C ($0,8^{\circ}\text{C/W}$)
3. Pada semua temperatur, semua variasi panjang kondensor maka daya output dan fluks kalor akan semakin besar. Pada panjang kondensor yang sama dengan panjang evaporator, semakin tinggi temperatur, maka semakin besar fluks kalor dan daya output. Proses pada eksperimen ini paling efektif pada panjang kondensor 1,25 kali panjang panjang evaporator, karena setelahnya nilai tahanan termal akan mengalami kecenderungan tetap.

Saran-saran

1. Hendaknya dilakukan penelitian dengan jenis fluida kerja yang lain
2. Hendaknya dilakukan penelitian dengan variasi temperatur yang berbeda

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Holman, JP.1986. Heat Transfer Mc Graw Hill, Ltd jasjfi (Penerjemagh). 1994. Perpindahan Kalor. Edisi keempat. Erlangga Jakarta.
2. 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.
3. Meena, P. and S. Rittidech., 2008, "Comparisons of Heat Transfer Performance of a Closed-looped Oscillating Heat Pipe and Closed-looped Oscillating Heat Pipe with Check Valves Heat Exchangers", American J. of Engineering and Applied Sciences 1, Vol. 1, pp. 7-11.
4. Meng-Chang Tsai., Chih-Sheng Hsieh., Shung-Wen Kang., 2007, "Experimental Study of a Loop Thermosyphon Using Methanol as Working Fluid", International Heat Pipe Conference (14th IHPC), Florianópolis, Brazil, April 22-27, 2007.
5. Soedarmanto,Heri." Pengaruh Konsentrasi Campuran Aseton dan Metanol Terhadap Unjuk Kerja Termal Revolving Heat Pipe dengan Alur Memanjang". Jurnal poros Teknik,3:1, 34-30.(Manado,1 Juni 2011).
6. Sathaye,N.D.2000.Incorporation of heat pipe Into Engine Air Pre Cooling,Master Thesis, B.E, University of Pune.
7. Sugeng Hadi (2003) , Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Kinerja Termal Pipa Kalor Alur Memanjang. Tesis, Universitas Brawijaya
8. Masaru (2000), State of art Tchnologies of Micro Heat Pipe Heat Sink Note Book PCS