



## Studi Eksperimental Pipa Kalor untuk Pemanas Kolektor Surya

### *Experimental Study of Heat Pipe for Solar Collector Heater*

**Dian Wahyu**

*Department of Mechanical Engineering, Politeknik Negeri Padang  
Kampus Limau Manis, Limau Manis, Pauh, Padang, Sumatera Barat 25163, Indonesia*

*Received 04 March 2016; Revised 12 March 2016; Accepted 14 March 2016, Published 14 April 2016*

<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2016.V6.6-14>

*Academic Editor: Asmara Yanto (asmarayanto@yahoo.com)*

*Correspondence should be addressed to dianwahyuitb@gmail.com*

*Copyright © 2016 D. Wahyu. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](#).*

#### **Abstract**

*Heat pipes with a size of 0.0127 m diameter x 1.3 m length x 0.0008 m thick and absorber with a size of 1m length x 0.1 m width has been created and tested to be used as a solar collector heating element. Heat pipes are made using water as the heat transport medium and using a stainless steel mesh wick 120 as a tool that helps accelerate the flow of condensate inside the heat pipe. Testing of heat pipes will be do in two condition at an inclination of 30°, before the heat pipes selected as the heating element in the solar collector. Testing of heat pipe on the first condition is done by using 1,000 ml of hot water temperature of 100°C with the power supply of 20 watts as a heat source in the evaporator side and further testing of pipe heat was tested by direct solar radiation, this test is intended to see directly if heat pipe was made able to work in conditions that are expected. Tests are done to see the heat transfer capacity and response speed ( $\tau$ ) of the heat pipe. Based on testing obtained the fastest response in the heat pipes transfer of the heat contained in the filling ratio of 20% with the heat transfer efficiency of 75%.*

**Keywords:** *heat pipe, heating element, solar collector*

### **1. Pendahuluan**

Perpres Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) menunjukkan adanya supaya agar pemakaian energi baru dan terbarukan meningkat. Energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumberdaya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain energi surya, panas bumi, bahan bakar nabati (biofuel), arus sungai, energi angin, biomassa, dan energi laut.

Indonesia memiliki potensi menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi alternatif masa depan, karena Indonesia terletak pada posisi khatulistiwa. Berdasarkan letaknya, Indonesia berada di daerah beriklim tropik dimana daerah ini kaya akan curahan energi surya. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral memberikan data potensi energi surya harian rata-rata di Indonesia sebesar 4,5-6,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Bandung terletak pada koordinat

107°36' Bujur Timur dan 6°55' Lintang Selatan. Berdasarkan program Meteorologi radiasi rata-rata harian berkisar antara 4,5-5,4 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Berdasarkan hal tersebut, pertimbangan untuk memanfaatkan energi surya sangat mungkin dilakukan [1].

Usaha pemanfaatan energi surya untuk memberikan sumbangan bagi pemenuhan kebutuhan energi sejak lama telah dilakukan tetapi belum optimal.

Pada saat ini pemanfaatan energi surya telah dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan teknologi surya fotovoltaik dan teknologi surya termal. Teknologi surya fotovoltaik biasanya digunakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik skala kecil seperti penerangan rumah, penyuplai pompa air, penyuplai televisi LCD dan LED, dan lain-lain. Sementara teknologi surya termal dapat digunakan langsung seperti untuk pengeringan dan pemanasan air [2].

Namun potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal khususnya untuk kebutuhan skala rumah tangga melalui penggunaan kolektor surya. Salah satu penyebabnya adalah adanya anggapan masyarakat bahwa kolektor surya sebagai alat untuk mengkonversi energi surya merupakan barang *eksklusif* berteknologi tinggi yang harganya cukup mahal. Tentu asumsi tersebut tidak sepenuhnya benar karena masih banyak faktor lain yang perlu dipertimbangkan khususnya untuk jangka panjang. Hal ini menarik untuk dikaji lebih mendalam, bagaimana mendapatkan kolektor surya sebagai *pre-heater* skala rumah tangga dengan biaya yang terjangkau untuk mereduksi penggunaan bahan bakar minyak yang semakin terbatas.

Penelitian terdahulu diantaranya mengkaji kinerja berbagai jenis kolektor surya seperti menganalisis performansi sistem kolektor surya jenis palung silindris dengan absorber multi-pipa [3], mengkaji kolektor surya pemanas air dengan menggunakan pelat absorber gelombang [4], dan melakukan studi eksperimental kolektor tubular dengan memanfaatkan lampu neon bekas sebagai kaca penutup kolektor [5].

Usaha pemanfaatan energi matahari menggunakan kolektor surya konvensional dirasa masih belum efisien karena memiliki efisiensi rendah sekitar 15% - 30% [6]. Pipa kalor adalah alat superkonduktor yang mampu memindahkan panas secara cepat, dengan memanfaatkan panas laten fluida kerja yang berada dalam pipa kalor.

Beberapa penelitian pipa kalor telah dilakukan sebelumnya [7-10]. Pipa yang dibuat menggunakan fluida kerja air dengan pipa tembaga berukuran diameter luar 8 mm, tebal 1 mm, panjang 400 mm. Bahan struktur sumbu (*wick*) yang digunakan kasa *Stainless Steel SS 304, mesh 50*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pipa kalor yang dibuat mempunyai temperatur operasi pada kisaran 110 – 150°C dan kinerja terbaik tercapai pada filling ratio 0.19 dimana kecepatan perpindahan panas adalah 11 kali kecepatan perpindahan panas pada tembaga pejal [7]. Pipa kalor menggunakan bahan tembaga dengan ukuran diameter luar 4.7 mm, tebal 0.5 mm dan panjang 360 mm. Fluida kerja adalah air dan struktur sumbu (*wick*) menggunakan kasa *Stainless Steel SS 304, mesh 50*. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan kemiringan sudut pipa kalor dari posisi vertikal sampai horizontal dengan beda variasi sebesar masing-masing 15° dan beban pemanasan. Hasil yang diperoleh menunjukkan kapasitas perpindahan panas pipa kalor dipengaruhi oleh kemiringan pipa kalor dan besarnya beban panas.

Perbandingan konduktivitas termal pipa kalor terhadap tembaga pejal 950 kali pada posisi horizontal untuk input daya 45 Watt, sedangkan pada posisi vertical adalah 550 untuk input daya 92 Watt [8]. Posisi terbaik pipa kalor pada posisi vertikal dengan kapasitas panas yang paling besar [9]. Wayan [10] meneliti pengaruh kemiringan pipa kalor dan pengaruh filling ratio dalam memindahkan panas. Pipa kalor yang dibuat menggunakan bahan tembaga diameter luar 9.525 mm, tebal 0.8 mm, panjang 300 mm dengan fluida kerja air dan wick stainless steel mesh 100. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas perpindahan panas pipa kalor dipengaruhi oleh kemiringan pipa kalor. Pipa kalor dengan posisi vertikal mempunyai perpindahan panas yang paling tinggi dan posisi horizontal mempunyai perpindahan panas paling rendah. Dari perhitungan perpindahan panas diperoleh bahwa konduktivitas termal pipa kalor 195.32 kali dari tembaga pejal.

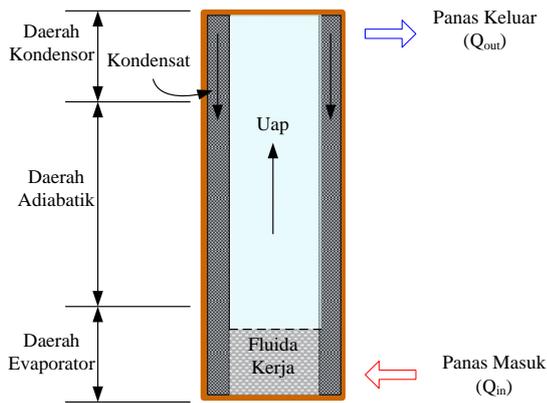
Penggunaan pipa kalor sebagai elemen pemanas kolektor surya, sangat menjadi prospek yang menjanjikan karena memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap panas energi matahari. Penggunaan pipa kalor didalam kolektor surya dapat meningkatkan penggunaan energi matahari yang mampu mencapai efisiensi kerja 47% [1].

## 2. Metode

### A. Prinsip Kerja Pipa Kalor

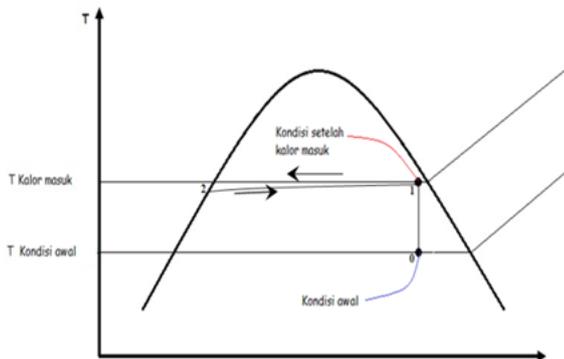
Pipa kalor merupakan pipa berongga yang kedua ujungnya ditutup setelah sejumlah fluida kerja ditempatkan di dalamnya [2]. Secara umum *pipa kalor* bekerja memanfaatkan kalor laten dari fluida kerja. Proses perpindahan panas pada *pipa kalor* terjadi pada tiga daerah hantaran yaitu, *evaporator*, *adiabatic* dan *condenser* dimana bagian itu dapat diilustrasikan seperti Gambar 1. Struktur *wick* digunakan untuk membantu mempercepat aliran kondensat di dalam pipa.

Pada Gambar 2, dapat dilihat kondisi fasa fluida kerja sebelum dan sesudah kalor masuk ke area *evaporator* pipa kalor. Ketika kalor masuk di sepanjang sisi *evaporator*, dimana temperatur kalor masuk melebihi temperatur saturasi fluida kerja, hal tersebut menyebabkan sejumlah cairan fluida kerja menguap. Uap akan mengalir ke area kondensor karena terjadi peningkatan tekanan uap.



Gambar 1. Skematik pipa kalor

Pada bagian kondensor, kalor laten uap dipindahkan ke lingkungan sekitar, hal ini menyebabkan temperatur dan tekanan uap turun sehingga kondensat terbentuk. Kondensat akan kembali ke area *evaporator* melalui *wick*, sementara penurunan tekanan uap akan menguapkan lagi sejumlah fluida kerja yang berada pada daerah *evaporator*. Proses ini akan berlangsung secara terus menerus sepanjang adanya panas yang diterima dibagian *evaporator*.



Gambar 2. Proses perpindahan panas pipa kalor

Secara sederhana siklus yang terjadi pada *pipa kalor* dapat diringkas berdasarkan Gambar 2, seperti di bawah ini:

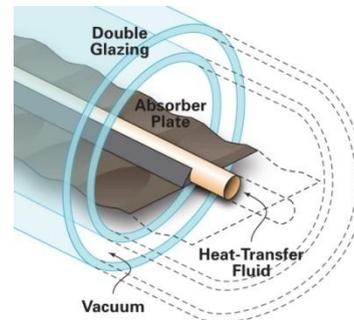
Proses	Keterangan
0-1	Peristiwa evaporasi pertama kali kalor masuk
1-2	Peristiwa kondensasi karena kalor dipindahkan keluar <i>pipa kalor</i>
2-1	Peristiwa evaporasi

**B. Fluida Kerja Pipa kalor**

Fluida kerja berfungsi untuk memindahkan panas dari evaporator ke kondensor. Untuk itu harus dipilih fluida kerja yang memiliki temperatur titik cair di bawah temperatur operasi dan memiliki temperatur kritis di atas temperatur operasi dan memiliki kalor laten yang tinggi.

**C. Pemanas Air Surya**

Pemanfaatan energi matahari untuk pemanasan air bukan merupakan ide baru. Lebih dari seratus tahun yang lalu, tangki air yang dicat hitam telah digunakan sebagai pemanas air surya sederhana di berbagai Negara. Teknologi pemanas air surya telah berkembang dalam beberapa dekade terakhir. Sekarang lebih dari 30 juta m<sup>2</sup> kolektor pemanas air surya telah dipasang di seluruh permukaan bumi. Keuntungan penggunaan pemanas air surya adalah penghematan biaya dalam pemanasan air, karena beberapa pemanas air surya tidak membutuhkan pasokan listrik untuk beroperasi. Selama *irradiance* matahari cukup, air panas tetap diproduksi seperti pemanasan air kolam renang secara langsung.



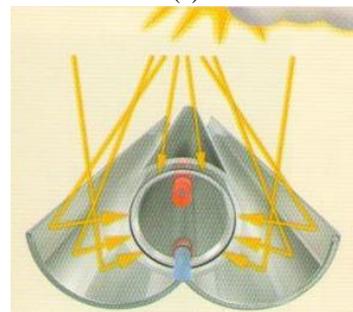
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Tabung kolektor surya. (a) Konstruksi tabung kaca pada kolektor surya tabung hampa. (b) Tabung hampa kolektor surya menggunakan heat pipe. (c) Tabung hampa kolektor surya menggunakan pipa berbentuk U. (d) Compound Parabolic Concentrator (CPC) yang digunakan pada kolektor surya tabung hampa

Tiga operasi dasar pada sistem pemanas air surya [3]:

1. Pengumpulan  
Radiasi matahari dapat diserap dengan menggunakan kolektor surya.
2. Pemindahan  
Sirkulasi air pada kolektor surya menyebabkan perpindahan energi dari kolektor surya ke tangki penyimpanan. Sirkulasi fluida bisa terjadi secara alami (*thermosiphon systems*) atau sirkulasi paksa (*low-head pump*).
3. Penyimpanan  
Air panas dapat disimpan pada tangki penyimpanan yang diberi isolasi termal.

Salah satu jenis kolektor surya yang menggunakan pipa kalor adalah kolektor tabung hampa. Kolektor surya ini terdiri dari tabung-tabung kaca. Tabung tersebut memiliki 2 lapisan kaca, dimana udara di dalam ruang tersebut telah divakum, ini bertujuan untuk meminimalisir rugi-rugi panas konveksi pada kolektor. *Absorber* dengan permukaan selektif ditempatkan di dalamnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.(a). Kolektor ini bagus dalam penyerapan energi matahari dan rugi termal ke lingkungan sangat rendah. Kolektor tersebut sudah menjadi komoditi pasar internasional. Kolektor ini memakai teknologi *heat pipe* dan pipa berbentuk U yang diletakkan dalam setiap tabung kaca hampa. Fungsi *heat pipe* dan pipa berbentuk U adalah untuk memindahkan panas yang diserap oleh *absorber* ke tempat *manifold*. Kolektor ini biasanya digunakan pada kondisi daerah temperatur sedang dan temperatur tinggi untuk tujuan pembuatan air panas (kondisi temperatur air yang dihasilkan sampai pada temperatur 90°C), dan pemanasan ruangan dll. Beberapa kolektor ini dilengkapi dengan konsentrator yang membantu meningkatkan efisiensi kolektor [7].

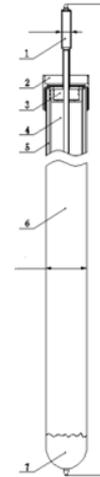
Pada Gambar 3.(b) proses perpindahan panas antara *heat pipe* dengan *manifold* terjadi melewati perubahan fasa fluida kerja *heat pipe*. Fluida kerja di dalam *heat pipe* akan menguap ketika energi surya jatuh pada bidang *absorber*, dimana bidang *absorber* merupakan tempat penempelan *evaporator heat pipe*. Uap akan mengalir ke arah sisi kondensor *heat pipe* yang bersentuhan dengan *manifold* kolektor. Kondensat akan terbentuk ketika panas laten uap dipindahkan ke fluida yang mengalir pada *manifold*.

Gambar 3.(c) ini adalah kolektor yang digunakan pada penelitian pengembangan teknologi pompa kalor temperatur tinggi oleh

Djuanda. Secara konstruksi kolektor ini, mempunyai kemiripan dengan kolektor surya *heat pipe* tabung hampa. Perbedaannya terletak pada proses pemanasan air pada kolektor. Air yang akan dipanaskan, akan mengalir di dalam pipa U sebelum menuju ke *manifold*.

Gambar 3(d) dapat digunakan pada kedua kolektor ini, dimana fungsinya membantu memantulkan kembali sinar radiasi yang jatuh di celah kolektor menuju *absorber*. Konsentrator tersebut berguna meningkatkan efisiensi dari kolektor.

Adapun komponen yang digunakan pada kolektor surya tabung hampa ditunjukkan pada Gambar 4 [5].



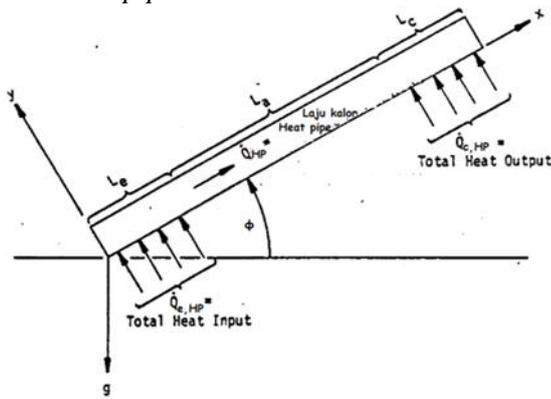
1. *Heat pipe*  
Perpindahan energi berlangsung sangat cepat dan efisien.
2. *Glass tube top holder*  
Berfungsi Sebagai penahan tabung kaca pada bagian *manifold*.
3. *Cover*  
Berfungsi meminimalisir rugi-rugi panas dari dalam tabung kaca.
4. *Absorber plate*  
Berfungsi sebagai penyimpan energi termal.
5. *Vacuum layer between the glass skins*
6. *Solar glass tube*  
Membantu meningkatkan penyerapan energi surya dan meminimalisir rugi-rugi panas.
7. *Base/tube seal*  
Ujung pipa kaca membantu meminimalisir rugi panas kolektor

Gambar 4. Bagian komponen pada tabung kaca pada kolektor surya hampa

#### D. Perpindahan Panas dalam Pipa kalor

Apabila ada kalor masuk pada sisi *evaporator*, maka kalor tersebut akan dipindahkan melalui kalor laten fluida kerja dalam *pipa kalor* ke bagian kondensor. Pada dasarnya, proses perpindahan panas yang terjadi di dalam *pipa kalor* merupakan bagian siklus termodinamika. Gambar 5. memperlihatkan jumlah panas yang

masuk pada sisi *evaporator* sama besarnya dengan panas yang dilepaskan pada sisi kondensor *pipa kalor*.



Gambar 5. Skema perpindahan panas pada pipa kalor

Jumlah panas yang dipindahkan *pipa kalor*, pada kondisi temperatur kerja dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut:

$$Q_{HP} = \frac{(2\sigma_1 \cos\theta - \rho_1 g l_{eff} \sin\Phi) \rho_1 L A_w K}{r_c \mu_1 l_{eff}} \quad (1)$$

Dengan

- $l_a$  = panjang bagian adiabatik (m)
- $l_c$  = panjang bagian kondensor (m)
- $l_e$  = panjang bagian evaporator (m)
- $\rho_1$  = massa jenis uap ( $kg/m^3$ )
- $\mu_1$  = viskosita dinamik uap ( $Ns/m^2$ )
- $l_{eff}$  = panjang efektif (m) =  $l_a + 0,5(l_c + l_e)$
- $L$  = kalor laten spesifik penguapan ( $J/kg$ )
- $A_w$  = luas wick =  $\pi r D$
- =
- $K$  = permeabilitas wick ( $m^2$ )
- $\theta$  = sudut kontak antara fluida dengan dinding *pipa kalor*
- $\Phi$  = sudut pipa kalor terhadap horizontal
- $r_c$  = radius pori-pori

**E. Perhitungan Laju Perpindahan Panas dan Koefisien Perpindahan Panas Pipa Kalor**

Perhitungan mengenai laju perpindahan panas ( $Q_{out}$ ) dan konduktivitas termal dari pipa kalor. Persamaan untuk menghitung perpindahan panas yang terjadi dalam pipa kalor adalah [5] :

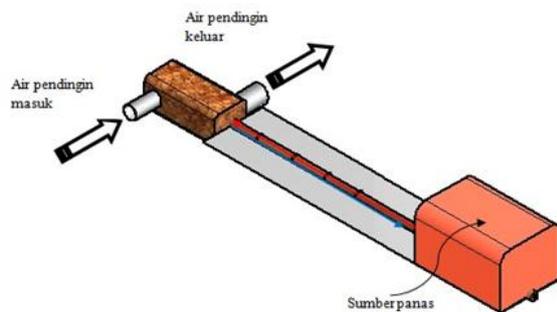
$$Q_{out} = \dot{m}_w c_{pw} (\bar{T}_{out} - \bar{T}_{in}) \quad (2)$$

dengan

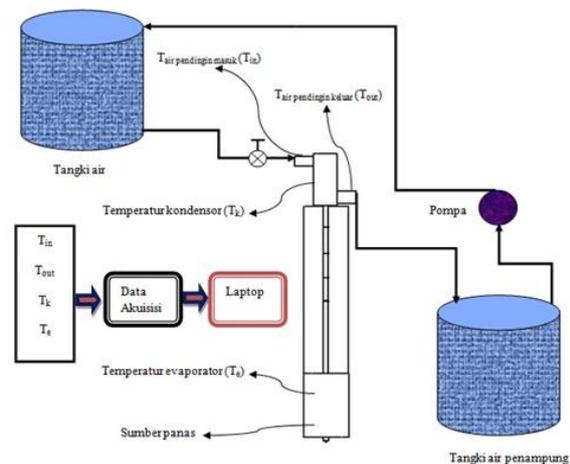
- $\dot{m}_w$  : laju aliran massa air pendingin ( $kg/s$ )
- $c_{pw}$  : kalor jenis air ( $kJ/kgK$ )
- $T_{in}$  : temperatur air pendingin masuk ( $^{\circ}C$ )
- $T_{out}$  : temperature air pendingin keluar ( $^{\circ}C$ )

**F. Skematik pengujian dan Perangkat pengujian serta Alat yang digunakan**

Pengujian *pipa kalor* dilakukan sebelum pemasangan *absorber pipa kalor* pada kolektor pemanas surya. Pengujian dilakukan pada berbagai rasio pengisian fluida dan pada kemiringan pipa kalor sebesar  $30^{\circ}$ . Rasio pengisian (*filling ratio*) adalah perbandingan volume fluida di dalam *pipa kalor* dengan volume rongga dalam *pipa kalor*. Dalam hal ini rasio pengisian yang diuji adalah 5%, 10%, 20%, 30%. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kecepatan respon *pipa kalor* dalam memindahkan panas dan kapasitas panas yang mampu dipindahkan oleh pipa kalor. Indikator yang dilihat adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak atau dikenal dengan istilah thermal time constant ( $\tau$ ). Hal ini bisa diketahui dengan mengukur temperatur sumber panas pada *evaporator pipa kalor* dan temperatur energi yang dipindahkan pada sisi kondensor *pipa kalor*. Pengujian ini dilakukan dengan dua sumber panas, pertama dengan pemanasan *pipa kalor* dengan air 1.000 mL pada temperatur  $100^{\circ}C$  dengan daya masuk 20 watt, berikutnya pemanasan dengan radiasi matahari langsung. Dengan melakukan pengujian ini diharapkan bisa mendapatkan *pipa kalor* yang tepat dan mampu bekerja pada kolektor pemanas air surya.



Gambar 6. Skema pengujian pipa kalor



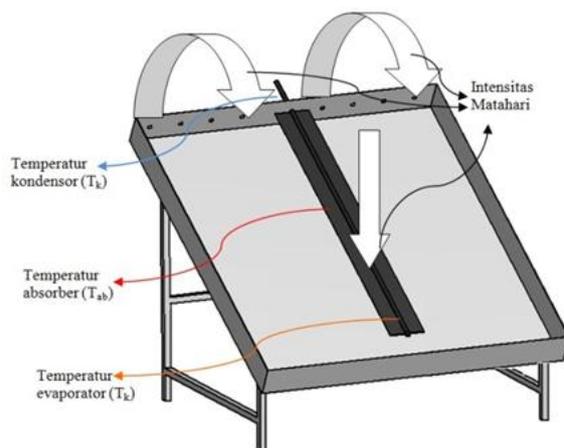
Gambar 7. Perangkat pengujian pipa kalor

Prosedur untuk melakukan pengujian adalah:

1. *Pipa kalor* dengan berbagai rasio pengisian sudah dibuat dan dipersiapkan.
2. Panaskan air dengan volume 1.000 mL dengan pemanas air dengan daya 20 watt
3. Letakkan *absorber pipa kalor* ke tempat pengujian seperti yang terlihat pada Gambar .
4. Pasang termokopel pada sisi *evaporator* dan kondensor *pipa kalor*.
5. Hubungkan kabel termokopel ke data akuisisi.
6. Masukkan air panas yang telah mendidih pada sisi *evaporator pipa kalor*.
7. Rekam data temperatur *evaporator* dan kondensor dengan laptop.

### G. Pengujian Pipa Kalor dengan Radiasi Langsung

Pengujian ini dilakukan untuk memprediksi apakah *pipa kalor* mampu bekerja untuk memanaskan air pada kolektor surya. Pengujian ini dilakukan pada radiasi rata-rata  $800 \text{ W/m}^2$ .



Gambar 8. Perangkat pengujian dengan radiasi

Prosedur untuk melakukan pengujian adalah:

1. *Pipa kalor* yang diuji adalah *pipa kalor* yang telah dipilih pada pengujian *pipa kalor* dengan sumber panas 1.000 mL air pada temperatur  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .
2. Pengujian dilakukan pada tempat yang sama, hari dan jam yang sama
3. Letakkan *absorber pipa kalor* ke tempat pengujian seperti yang terlihat pada Gambar
4. Pasang termokopel pada sisi *evaporator* dan kondensor *pipa kalor*.
5. Hubungkan kabel termokopel ke data akuisisi.
6. Sebelum merekam data temperatur, tutup bidang *absorber pipa kalor* agar radiasi tidak masuk.
7. Jika persiapan pengujian sudah matang, buka penutup dan rekam data temperatur evaporator dan kondensor dengan laptop.

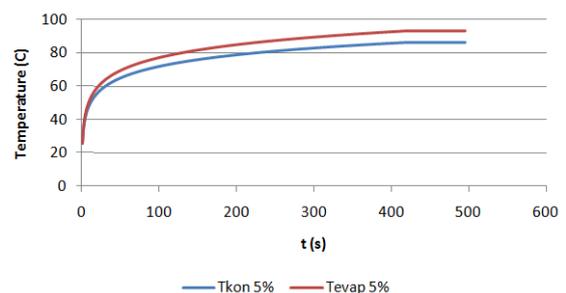
### H. Alat-alat yang Dibutuhkan

Adapun alat-alat yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

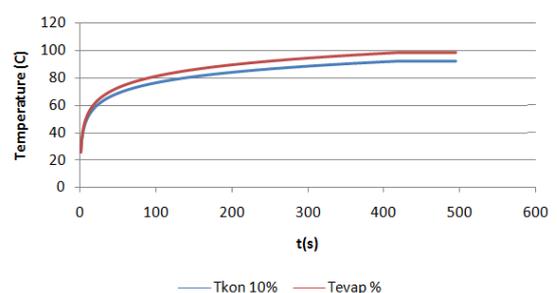
1. Pipa kalor dengan rasio pengisian yang berbeda, adalah pipa kalor yang akan diuji performansinya.
2. Air, digunakan sebagai indikator adanya penyerapan energi dari *absorber pipa kalor* ke air, yang diindikasikan dengan kenaikan temperatur air.
3. Tangki *head* konstan, berfungsi untuk mengatur laju aliran air ke kondensor pipa kalor.
4. Reservoir air, menampung air yang berlebih yang dipasok pompa ke tangki *head* konstan.
5. Pompa, berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penampungan air ke tangki *head* konstan.
6. Sensor temperatur, digunakan untuk mengukur temperatur air masuk dan keluar kondensor pipa kalor serta temperatur lingkungan.
7. Alat ukur intensitas radiasi matahari, digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari.
8. Data akuisisi, pengubah sinyal analog yang dihasilkan sensor temperatur ke sinyal digital.
9. Laptop, berfungsi sebagai perekam dan pengolah data.

## 3. Hasil dan Pembahasan

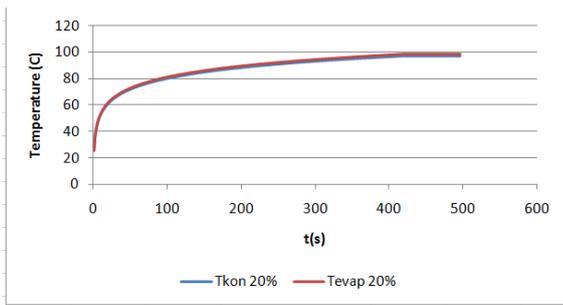
Setelah melakukan pengujian pipa kalor, didapatkan beberapa data tentang kemampuan pipa kalor dalam memindahkan panas yang dapat dilihat pada Gambar 9-14.



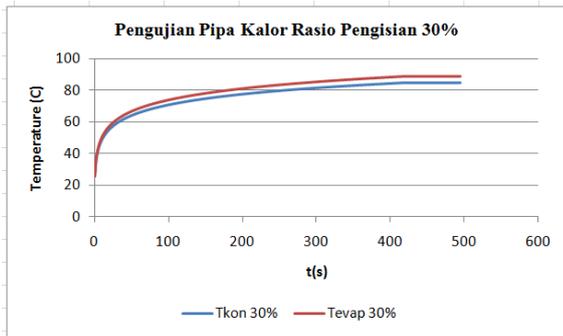
Gambar 9. Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 5%



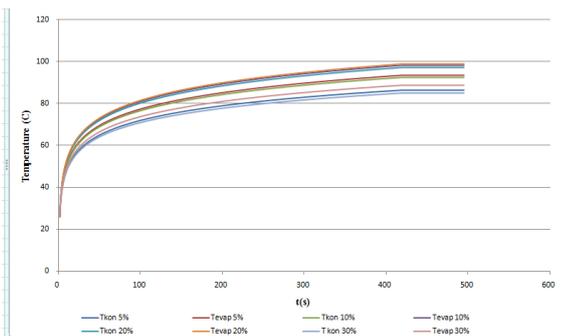
Gambar 10. Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 10%



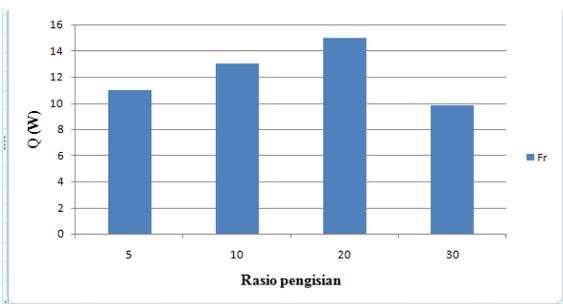
Gambar 11. Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 10%



Gambar 12. Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 30%



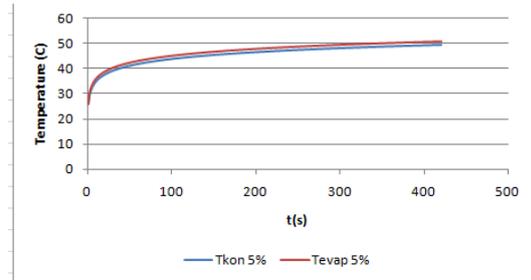
Gambar 13. Distribusi temperatur pada masing-masing pipa kalor



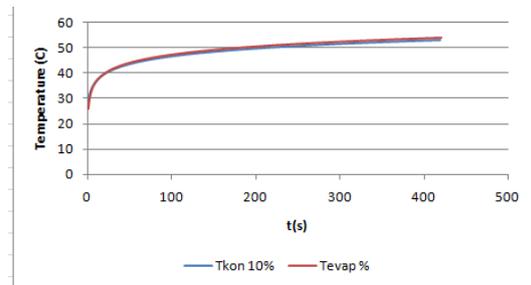
Gambar 14. Laju perpindahan panas pipa kalor

Gambar 9 sampai Gambar 14 diatas menunjukkan kemampuan pipa kalor dalam memindahkan panas. Data diatas merupakan data hasil pengujian dengan sumber panas input sebesar 20 W. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pipa kalor yang memiliki rasio pengisian sebesar 20% memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan pipa kalor lainnya. Selain itu, jika dilihat dari perbedaan temperatur antara evaporator dan kondensor, pipa kalor yang

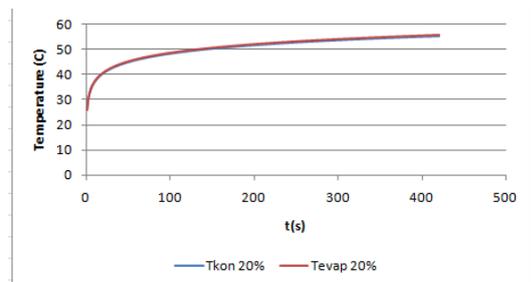
memiliki rasio pengisian sebesar 20% memiliki perbedaan temperatur yang sangat kecil dibandingkan dengan pipa kalor lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan pipa kalor Fr 20% memiliki kemampuan memindahkan panas sangat efektif dari yang lainnya. Dari hasil pengujian didapatkan efisiensi kerja tertinggi pipa kalor sebesar 75% pada pipa kalor yang memiliki rasio pengisian sebesar 20%.



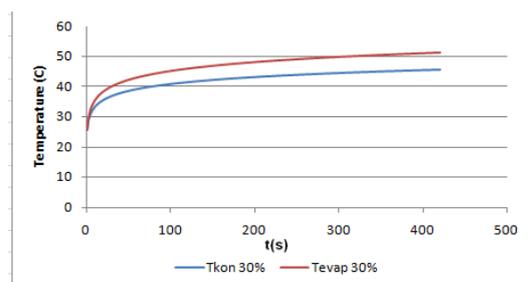
Gambar 15. Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 5% pada pengujian pemilihan pipa kalor dengan radiasi



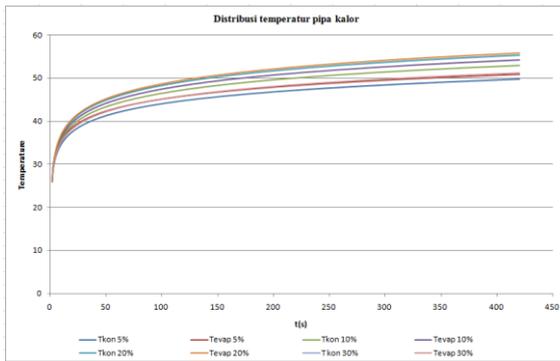
Gambar 16. Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 10% pada pengujian pemilihan pipa kalor dengan radiasi



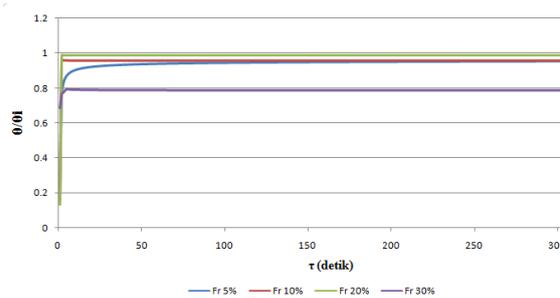
Gambar 17. Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 20% pada pengujian pemilihan pipa kalor dengan radiasi



Gambar 18. Pengujian pipa kalor dengan rasio pengisian 30% pada pengujian pemilihan pipa kalor dengan radiasi



Gambar 19. Distribusi temperatur pipa kalor pada pengujian pemilihan pipa kalor dengan radiasi



Gambar 20. Pengujian pipa kalor pipa kalor dalam memindahkan panas

Meskipun data dari pengujian pipa kalor dengan sumber panas sebesar 20 watt sudah dapat menggambarkan pipa kalor yang memiliki kemampuan yang baik dalam memindahkan panas dan respon yang cepat dalam memindahkan panas, namun belum dapat menentukan pilihan pipa kalor yang dapat berfungsi sebagai elemen pemanas kolektor surya. Gambar 15 sampai Gambar 20 merupakan hasil pengujian pipa kalor dengan sumber panas dari radiasi langsung. Gambar 15 sampai Gambar 20 diatas memperlihatkan kemampuan pipa kalor meneruskan panas. Ini diperlihatkan pada nilai temperatur pada sisi kondensator dan evaporator hampir sama. Pada Gambar 16 dan Gambar 17 memperlihatkan perbedaan nilai temperatur antara evaporator dengan kondensator relatif sama, namun nilai temperatur kondensator dan evaporator kedua pipa kalor berbeda. Pipa kalor dengan Fr 20% lebih memiliki nilai temperatur evaporator dan kondensator lebih tinggi dibandingkan dengan pipa kalor dengan Fr10%. Dengan demikian pipa kalor dengan Fr 20% lebih baik dibandingkan dengan pipa kalor dengan Fr 10% dan pipa kalor lainnya.

Untuk mengambil kesimpulan pipa kalor yang akan dipilih, maka ditampilkan Gambar 20 yang memperlihatkan kecepatan respon pipa kalor ( $\tau$ ).

Nilai kecepatan respon dari *pipa kalor* ini, dapat ditentukan besarnya pada rentang waktu tertentu untuk kedua jenis pengujian. Kecepatan

respon *pipa kalor* ini, mengindikasikan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak. Terlihat jelas pada Gambar 20 diatas, keseluruhan *pipa kalor* yang dibuat dapat bekerja dalam memindahkan panas pada setiap *filling ratio* yang dibuat kecuali pada nilai *filling ratio* 100%. Berdasarkan hasil kedua jenis pengujian tersebut, didapatkan jenis *pipa kalor* yang mempunyai respon yang paling bagus, yaitu *pipa kalor* dengan *pipa kalor filling ratio* 20%. Selain itu, pipa kalor dengan Fr 20% memiliki kinerja yang paling bagus dalam memindahkan panas.

Pertimbangan lain meliputi masalah kekeringan fluida (*dryout*) pada sisi *evaporator*. Dimana kondisi *dryout* ini perlu dihindari karena berpengaruh pada operasi kerja *pipa kalor*. Jika kondisi ini terjadi, maka proses transformasi panas pun terhenti, karena tidak ada lagi fluida yang akan diuapkan.

Mengingat sumber panas pada sisi *evaporator pipa kalor* bersumber dari radiasi matahari maka kebutuhan *pipa kalor* untuk kolektor surya dengan *filling ratio* 20 % dipilih. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan karakteristik *pipa kalor* yang memberikan respon yang paling baik terhadap energi masuk dan kapasitas pemindahan panas yang lebih besar dibandingkan dengan semua *filling ratio* lainnya.

#### 4. Simpulan

Setelah melakukan studi literatur, merancang, membuat, menguji, dan menganalisa penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut bahwa :

- 1) Pipa kalor dengan *filling ratio* 20% dipilih untuk elemen pemanas kolektor surya, dan selain itu pipa kalor ini mampu memindahkan panas dengan kapasitas 15 W dengan efisiensi kinerja 75%.
- 2) Pipa kalor yang dipilih memiliki nilai constant thermal yang tinggi dibandingkan dengan pipa kalor lainnya.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Staf Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang yang telah memberikan kontribusi sehingga artikel ini dapat diselesaikan.

#### Referensi

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. ASHRAE Pocket Guide for Air Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration 7th Edition.

- Tullie Circle, NE Atlanta: W. Stephen Comstock.
- [2] B&K Engineering. (1979). *Pipa Kalor Design Handbook*. Maryland: Nasa.
  - [3] P. I. Cooper and R.V. Dunkle, "A non-linear flat plate collector model," *Solar Energy*, Vol. 26(2), pp. 133-140, 1981.
  - [4] G. Y. Nugroho, "Kaji Ekperimental Penggunaan Pipa Kalor Dalam Kolektor Surya Sebagai Penyerap Energi Termal Surya Untuk Penyuplai Pompa Kalor Temperatur Tinggi," *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9*, Palembang, 13-15 Oktober 2010.
  - [5] D. Reay and P. Kew, *Pipa kalors Theory, Design, and Aplication*. Great Britain: Butterworth-Heinemann Publication, (2006).
  - [6] D. W. Shepherd, *Energy Studies*, 2<sup>nd</sup> Ed., London, UK: Imperial College, 2003.
  - [7] A. A. M. Sayigh, *Solar Flat Plate Collectors*, in *Technology for Solar Energy Utilization, Development and Transfer of Technology Series No.5*, United Nations Industrial Development Organization, 1987.
  - [8] W. F. Stoecker, (1989), *Design of Thermal Systems*, 355<sup>rd</sup> Ed., NewYork: McGraw-Hill Book Co.
  - [9] T. J. Jansen, *Solar Engineering Technology*, New York: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs., 1995.
  - [10] D. Wahyu, "Kaji eksperimental kolektor surya untuk *heat pump* temperatur tinggi," *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII, Universitas, Lampung, Bandar Lampung, 23-24 Oktober 2013*.