



## **Kolektor Surya Pipa Panas Tipe Datar: Sebuah Penelitian Eksperimental**

### ***The Flat Type Heat Pipe Solar Collector: An Experimental Research***

**Dian Wahyu**

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

*Received 01 September 2016; Revised 09 September 2016; Accepted 11 September 2016, Published 11 October 2016*

<http://dx.doi.org/10.211063/JTM.2016.V6.55-62>

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

*Correspondence should be addressed to [dianwahyuitb@gmail.com](mailto:dianwahyuitb@gmail.com)*

*Copyright © 2016 D. Wahyu. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).*

#### **Abstract**

*Flat solar collectors with heat pipe absorber with dimension of wide 1.5 m x 2 m length x 0.2 m thickness and 2.87 m<sup>2</sup> aperture area has been tested to produce hot water. Heat pipe used in flat plate solar collector, has a filling ratio of 20% which has been proven to have the highest ability to transfer heat when tested in previous studies. Testing of solar collectors with heat pipe absorber has been done during the month of April 2016 in the city of Padang by using standard ASHRAE 93-2003. The test results showed the highest efficiency obtained was 46%. To get the hot water of at least 64 °C with a flow rate of 0,35 L / min for 5 hours, required solar radiation of 750 W / m<sup>2</sup>. Generally, during the trial obtained water output temperature collectors from 8:00 - 9:00 pm and from 15:30 - 17:30 is below 60 °C, whereas at 9:30 - 15:30 obtained collector output water temperature above 64 °C, while the water temperature reached at the highest collector output value of 78 °C.*

**Keywords:** *Flat Type Solar collector, Heat pipe, Filling Ratio*

### **1. Pendahuluan**

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.

Perpres Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) menunjukkan adanya upaya 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.

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 pengering dan pemanas air.

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 [1], mengkaji kolektor surya pemanas air dengan menggunakan pelat absorber gelombang [2], dan melakukan studi eksperimental kolektor tubular dengan memanfaatkan lampu neon bekas sebagai kaca penutup kolektor [3].

Usaha pemanfaatan energi matahari menggunakan kolektor surya konvensional dirasa masih belum efisien karena memiliki efisiensi rendah sekitar 15% - 30% [4]. Pipa kalor adalah alat superkonduktor yang mampu memindahkan panas secara cepat, dengan memanfaatkan panas laten fluida kerja yang berada dalam pipa kalor. Penggunaan pipa kalor sebagai pemanas pada kolektor surya telah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Wahyu [1], dari hasil penelitian didapatkan efisiensi tertinggi sebesar 37%. Diharapkan penelitian lanjutan mengenai penggunaan pipa kalor sebagai elemen pemanas kolektor surya, dapat ditingkatkan lagi efisiensinya dan 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% [5].

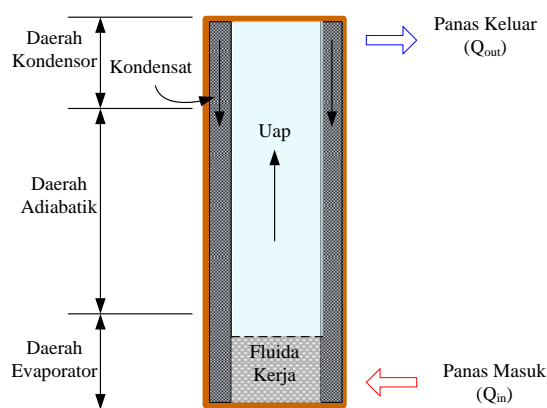
## 2. Metode

### A. Prinsip Kerja Pipa Kalor

Pipa kalor merupakan pipa berongga yang kedua ujungnya ditutup setelah sejumlah fluida kerja ditempatkan di dalamnya [6]. 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*

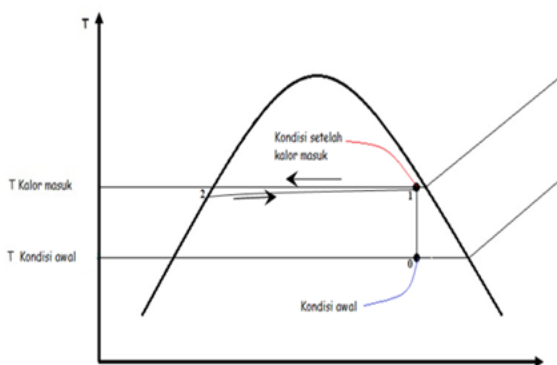
dimana bagian itu dapat diilustrasikan seperti Gambar 1. Struktur *wick* digunakan untuk membantu mempercepat aliran kondensat di dalam pipa.

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 kondensator karena terjadi peningkatan tekanan uap.



Gambar 1. Skematik pipa kalor

Pada bagian kondensator, 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.

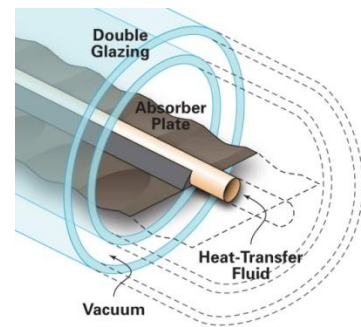
### C. Pemanas Air Surya

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.

Tiga operasi dasar pada sistem pemanas air surya [7]:

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.



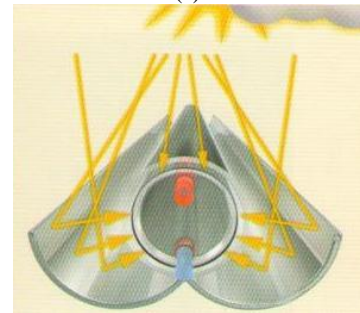
(a)



(b)



(c)



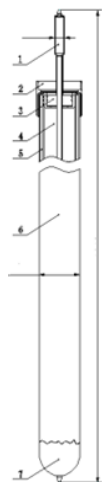
(d)

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

*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 [8].

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*.



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

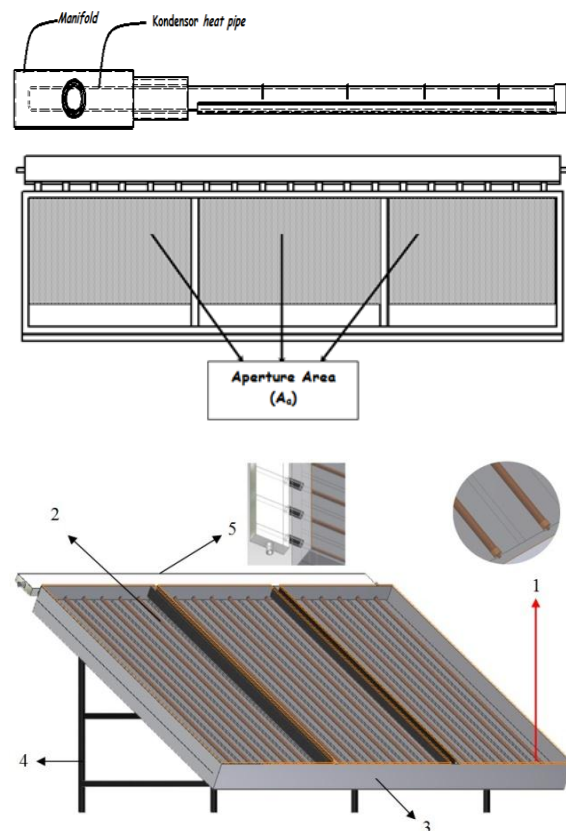
Gambar 4. Bagian komponen pada tabung kaca pada kolektor surya hampa

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 [3].

#### D. Kolektor Surya *Heat Pipe*

Secara umum, kolektor surya rancangan ini termasuk tipe kolektor surya pelat datar. Hal yang membedakan terletak pada jenis *absorber* yang digunakan. *Absorber* kolektor ini, menggunakan teknologi *heat pipe*. *Heat pipe* ditempelkan di atas pelat aluminium seperti yang terlihat pada Gambar 5. *Heat pipe* yang telah ditempelkan, dimasukkan ke dalam *manifold* kolektor surya melewati kondensor *heat pipe*.



Gambar 5. Kolektor surya *heat pipe*

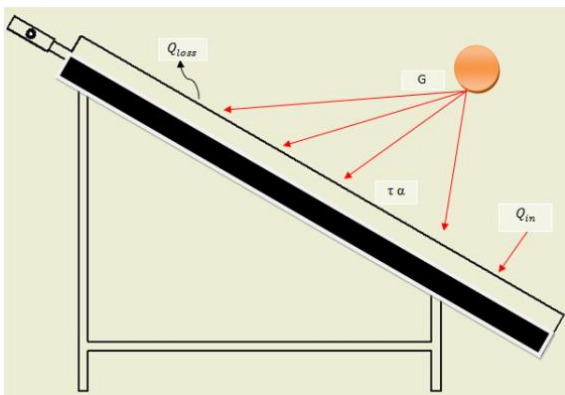
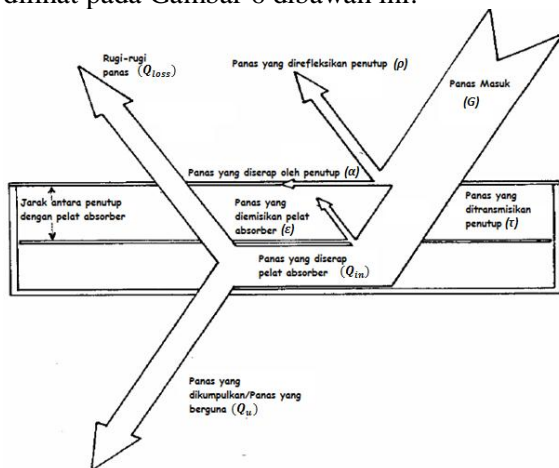
Prinsip kerja kolektor dalam proses pemanasan air yaitu dengan perubahan fasa yang berlangsung di dalam *heat pipe*. Energi radiasi surya yang jatuh pada permukaan kolektor akan diserap oleh *heat pipe* pada sisi *evaporator*. Temperatur *heat pipe* akan meningkat secara perlahan, menyebabkan fluida kerja di dalam *heat pipe* berubah fasa menjadi uap. Uap akan mengalir dari sisi *evaporator* ke sisi kondensor.



Pada sisi kondensor, panas laten uap akan dipindahkan ke aliran air yang akan dipanaskan di dalam manifold seperti yang ditunjukkan Gambar 5. Penutup kolektor menggunakan 1 lapis kaca. Kolektor ini dibuat dan diuji untuk melihat kinerja kolektor, apakah kolektor ini dapat menggantikan kolektor tipe *evacuated tube* yang telah digunakan sebagai penyuplai *heat pump* pada penelitian disertasi Djuanda. Diharapkan kolektor surya *heat pipe* tersebut, dapat memberikan hasil yang memenuhi persyaratan sebagai sumber kalor pemasok energi *heat pump*.

**E. Kestimbangan Energi dan Perhitungan Pada Kolektor Surya Heat Pipe**

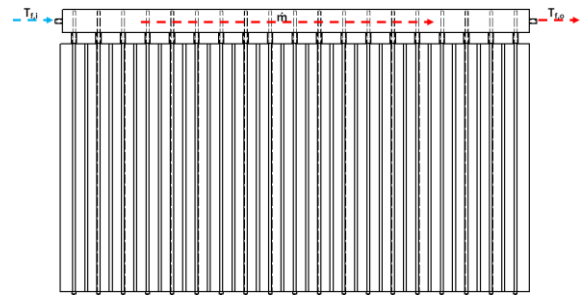
Langkah awal untuk melakukan analisis kolektor surya adalah dengan menerapkan hukum termodinamika I yang berbicara tentang kekekalan energi. Kestimbangan energi ini berguna untuk melihat energi yang masuk, energi yang dimanfaatkan dan rugi-rugi energi termal. Dengan mengasumsikan kolektor beroperasi pada keadaan tunak, skema ini dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini:



Gambar 6. Skema kestimbangan energi pada kolektor surya

Jika G adalah irradiance matahari ( $W/m^2$ ), jika kolektor surya memiliki aperture area ( $A_a$ )

ditunjukkan pada Gambar 7. Jumlah energi radiasi yang diterima kolektor surya dapat dicari dengan Persamaan (1).



Gambar 7. Aliran air yang akan di panaskan di dalam manifold pada kolektor surya

$$Q_i A_a \cdot G \tag{1}$$

Bagaimanapun ada bagian dari radiasi yang dipantulkan kembali ke angkasa dan ada yang diserap melalui kaca penutup dan pelat absorber. Energi masuk ( $Q_{in}$ ) setelah peristiwa penyerapan dari penutup dan absorber kolektor dapat ditulis seperti persamaan 2 dimana energi masuk adalah perkalian  $A_a$ , nilai transmisi-absorpsi ( $\tau_a$ ) dengan irradiance matahari yang datang ( $G$ ) seperti pada Persamaan (2).

$$Q_{in} = A_a \tau_a G \tag{2}$$

Karena kolektor menyerap panas, maka temperatur kolektor akan tinggi jika dibandingkan dengan temperatur lingkungan dan panas akan hilang ke lingkungan secara konveksi dan radiasi. Rata-rata rugi panas tergantung pada koefisien perpindahan panas ( $U_L$ ) dan perbedaan antara temperatur rata-rata pelat absorber,  $T_{p,m}$  dan temperatur lingkungan,  $T_a$ . Persamaan rugi termal dapat ditentukan menurut Persamaan (3).

$$Q_{loss} = U_L \cdot A_g (T_{p,m} - T_a) \tag{3}$$

Energi yang berguna  $Q_u$  yang diekstrak dari kolektor di bawah kondisi steady setara dengan energi masuk penyerapan kolektor dikurang dengan energi yang hilang ke lingkungan, dan dapat ditulis seperti Persamaan (4).

$$Q_u = \tau_a G - U_{L,A} (T_{p,m} - T_a) \tag{4}$$

Persamaan di atas sangat sulit untuk diterapkan karena proses yang sulit dalam menetapkan temperatur pelat kolektor rata-rata. Cara aktual untuk menghitung energi yang berguna, dapat juga dihitung

sebagai rata-rata panas yang diekstrak dari kolektor yang dipindahkan ke fluida yang mengalir di dalam manifold seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Secara umum energi yang dimanfaatkan untuk memanaskan air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (5).

$$Q_u = m \cdot C_p \cdot (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (5)$$

Dimana  $C_p$  adalah panas jenis dari air,  $m$  adalah laju aliran massa dari air,  $T_{f,i}$  dan  $T_{f,o}$  temperatur fluida masuk dan keluar.

Menurut Hottel Whillier-Bliss energi yang berguna sebagai perolehan dari energi surya yang masuk ke bidang kolektor dapat ditulis seperti Persamaan (6).

$$Q_u = F_R \cdot A_a \cdot (G \tau_a - U_L (T_{f,i} - T_a)) \quad (6)$$

Dimana  $F_R$  adalah faktor pemindah panas.

Indikator kinerja kolektor adalah efisiensi, yang didefinisikan sebagai perbandingan jumlah kalor yang dimanfaatkan dengan jumlah panas yang masuk ke bidang kolektor. Secara matematis bisa ditulis seperti Persamaan (7).

$$\eta_a = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_u dt}{A_a \cdot \int_{t_1}^{t_2} G dt} \times 100 \% \quad (7)$$

Dengan  $t$  adalah selang waktu, pengambilan data diambil tiap detik sedangkan pengolahan data dalam selang waktu 5 menit.

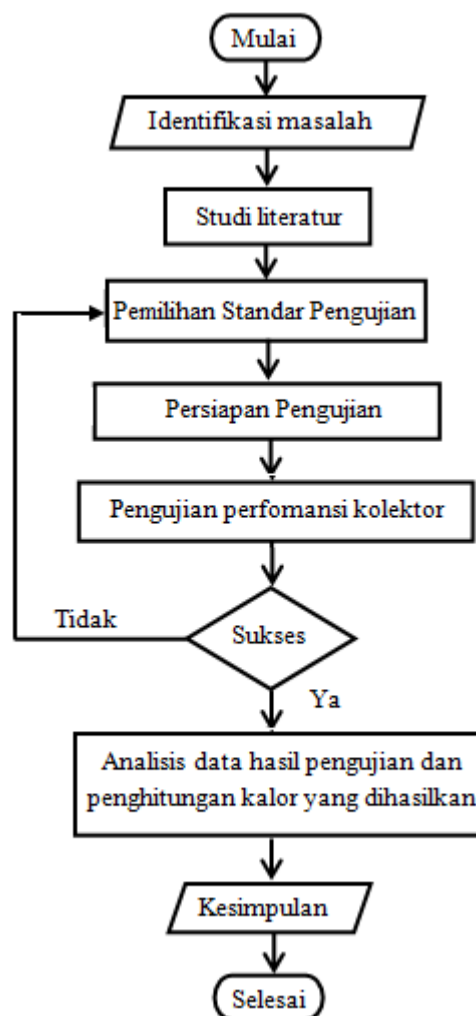
#### F. Skematik pengujian dan Perangkat pengujian serta Alat yang digunakan

Untuk mengilustrasikan proses pengujian pada kolektor surya *heat pipe* dapat dilihat pada skema pengujian seperti pada Gambar 8. Pipa kalor / *heat pipe* yang digunakan pada kolektor surya ini, merupakan hasil rancangan yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya. Pemilihan *heat pipe* jenis ini merupakan pipa kalor yang memiliki kemampuan tertinggi dalam memindahkan panas.

Sistematika pengujian adalah sebagai berikut:

1. Fungsikan tangki *head* konstan untuk mengatur laju aliran air yang akan dipanaskan.
2. Setelah debit diatur, air dialirkan masuk kolektor melewati saluran yang di dalamnya terdapat sisi kondensor *heat pipe*.

3. Setelah keadaan tunak dicapai, pengukuran dilakukan meliputi:
  - a. Pengukuran intensitas radiasi surya
  - b. Pengukuran temperatur fluida masuk kolektor
  - c. Pengukuran temperatur fluida keluar kolektor
  - d. Pengukuran temperatur keliling

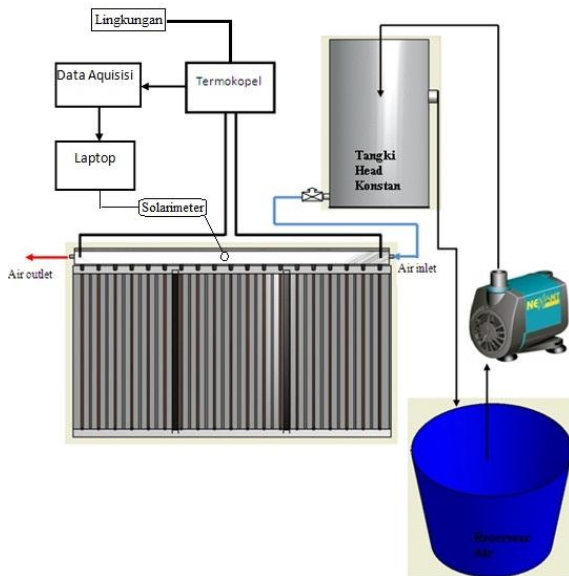


Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

Adapun alat-alat yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. Kolektor surya pelat datar *heat pipe*, adalah kolektor yang akan diuji performansinya.
2. Air, digunakan sebagai indikator adanya penyerapan energi dari *absorber heat pipe* ke air, yang diindikasikan dengan kenaikan temperatur air.
3. Tangki *head* konstan, berfungsi untuk mengatur laju aliran air ke kolektor.
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 kolektor 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.



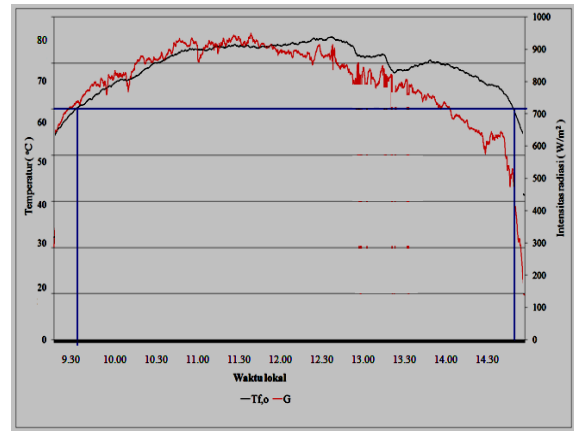
Gambar 9. Skema pengujian kolektor heat pipe pelat datar

### 3. Hasil dan Pembahasan

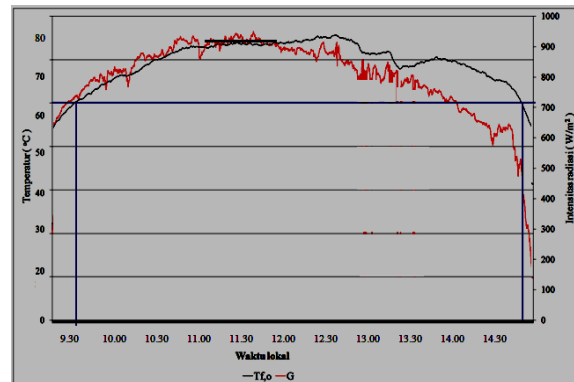
Pada Gambar 10 dan Gambar 11 masing-masing diperlihatkan hasil pengukuran intensitas radiasi matahari dan temperatur fluida yang dihasilkan kolektor surya *heat pipe* pelat datar. Secara umum, fluktuasi radiasi matahari sangat jelas terlihat selama pengujian berlangsung. Hal ini berpengaruh terhadap temperatur air panas yang keluar dari kolektor. Namun, perhitungan peromansi kolektor masih dapat dilakukan karena beberapa data hasil pengujian masih di dalam syarat batas pengujian. Pengujian dilakukan pada semua kondisi cuaca kecuali hujan, ini bertujuan untuk melihat apakah kolektor surya *heat pipe* mampu menghasilkan air panas.

Kondisi tempat pengujian mempengaruhi data yang dihasilkan, dimana radiasi mulai masuk ke bidang kolektor secara efektif dan signifikan pada pukul 8:30. Padahal, bila diambil pada posisi lain sebenarnya data radiasi sudah dapat diambil, hal ini disebabkan karena radiasi matahari terhalang pepohonan yang tumbuh di samping bangunan. Dari hasil data-data selama pengujian dapat disimpulkan bahwa kolektor

yang dirancang mampu menghasilkan air panas melewati temperatur  $64\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama waktu lebih kurang 5 jam dan ini bisa dicapai jika kondisi cuaca tidak hujan atau berawan tebal serta radiasi minimal  $750\text{ W/m}^2$ .



Gambar 10. Hasil pengukuran intensitas matahari

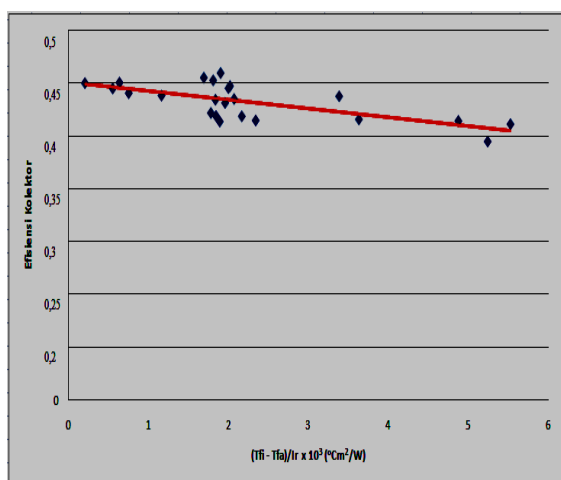


Gambar 11. Hasil pengukuran temperatur fluida

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan contoh hasil pengukuran intensitas radiasi matahari dan temperatur air keluaran kolektor. Sesuai dengan persyaratan pengujian, hasil pengujian seperti pada Gambar 10, dapat digunakan untuk menghitung efisiensi sesaat kolektor, karena memiliki beberapa segmen yang memenuhi persyaratan untuk menghitung efisiensi sesaat kolektor. Pada Gambar 11 diperlihatkan gambar yang akan nantinya diolah untuk menentukan efisiensi sesaat kolektor surya. Data-data yang berada pada garis lurus pada salah satu bagian pada Gambar 11, diolah sebagai contoh untuk menghitung efisiensi kolektor sesaat.

Dalam perhitungan efisiensi, data-data diolah menjadi bersegmen-segmen dengan selang waktu selama 5 menit. Kemudian, untuk setiap segmen, efisiensi sesaat kolektor dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (7). Hasil perhitungan dapat

dilihat di bawah ini berupa grafik pada Gambar 12.



Gambar 12. Efisiensi sesaat kolektor

Gambar 12 merupakan grafik efisiensi sesaat hasil pengujian kolektor surya *heat pipe*, dari data diperoleh bahwa kenaikan temperatur yang terjadi sebesar 45 °C. Ini didapat pada kondisi pengujian: intensitas radiasi rata-rata 900 W/m<sup>2</sup>, temperatur rata-rata fluida masuk 33 °C, temperatur rata-rata keliling 31°C, dan kecepatan angin 0 - 2 m/s. Pada kondisi ini didapat efisiensi sesaat kolektor surya yang berbeda-beda tergantung pada kondisi fluktuasi radiasi surya dan nilai perbedaan temperatur fluida masuk dengan temperatur lingkungan ( $T_{fi}-T_a$ ). Efisiensi sesaat kolektor akan turun jika nilai ( $T_{fi}-T_a$ ) meningkat. Efisiensi kolektor tertinggi didapatkan bernilai 46 %. Ini terjadi pada saat perbedaan temperatur fluida masuk dengan temperatur lingkungan mendekati nol.

#### 4. Simpulan

Setelah melakukan pengujian dan menganalisa data pada penelitian ini, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut, pertama, kolektor surya dengan absorber *heat pipe* berukuran 1,5 m x 2 m, telah diuji dan dapat menghasilkan air dengan temperatur minimal 64 °C dan temperatur air tertinggi sebesar 78 °C pada radiasi minimal 750 W/m<sup>2</sup> selama 5 jam. Kedua, efisiensi kolektor sangat dipengaruhi oleh fluktuasi radiasi matahari dan nilai perbedaan temperatur fluida masuk kolektor dengan temperatur lingkungan ( $T_{fi}-T_a$ ). Efisiensi kolektor tertinggi didapatkan sebesar 46 % ketika nilai ( $T_{fi}-T_a$ ) mendekati nol.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Staf Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang yang

telah memberikan kontribusi sehingga artikel dapat diselesaikan.

#### Referensi

- [1] D. Wahyu, "Experimental study of heat pipe for solar collector heater," *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, Vol. 6, No. 1, pp. 6-14.
- [2] N. G. Yoga, "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.
- [3] D. Wahyu, "Kaji eksperimental kolektor surya *heat pipe* untuk *heat pump* temperatur tinggi," *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII*, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 23-24 Oktober 2013.
- [4] W. F. Stoecker, *Design of Thermal Systems*, 355<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill Book Co., NewYork, 1989.
- [5] 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.
- [6] B&K Engineering. (1979). *Pipa Kalor Design Handbook*. Maryland: Nasa.
- [7] P. I. Cooper and R.V. Dunkle, "A non-linear flat plate collector model," *Solar Energy*, Vol. 26(2), pp. 133-140, 1981.
- [8] 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.