

Kaji Eksperimental Kolektor Surya *Heat Pipe* Untuk *Heat Pump* Temperatur Tinggi

Dian wahyu (*), Abdurrachim

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung
Gedung Labtek II Lt. 2, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
Telp: +6222 2504243, Fax +6222 25340999
(*E-mail: dianwahyuitb@gmail.com

Abstrak

Kolektor surya pelat datar dengan *absorber heat pipe* dengan ukuran 1,13 m x 2 m x 0,12 m dengan *aperture area* 1,87 m² telah dibuat dan diuji untuk menghasilkan air panas yang akan digunakan untuk *heat pump*. *Heat pipe* yang dibuat menggunakan air sebagai media pembawa panas dan menggunakan *wick stainless steel mesh* 100 sebagai alat yang membantu mempercepat aliran kondensat di dalam *heat pipe*. Pengujian *heat pipe* dilakukan terlebih dahulu sebelum *heat pipe* dipilih dan dirakit menjadi kolektor pemanas air surya. Pengujian *heat pipe* dilakukan dengan menggunakan 1.000 mL air panas bertemperatur 100°C sebagai sumber panas *evaporator heat pipe* dan juga diuji dengan radiasi matahari langsung. Pengujian tersebut dilakukan untuk melihat kecepatan respon (τ) *heat pipe* dalam memindahkan panas. Dari pengujian diperoleh *filling ratio heat pipe* yang terbaik adalah sebesar 10%. Pengujian kolektor pemanas air surya dengan *absorber heat pipe* ini telah dilakukan selama bulan Juni 2013 di laboratorium surya Institut Teknologi Bandung (ITB) dengan menggunakan standar *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE 93-2003). Efisiensi kolektor pemanas air surya ini sangat dipengaruhi oleh *irradiance* matahari dan perbedaan temperatur fluida masuk kolektor dengan lingkungan ($T_{fi}-T_a$). Hasil pengujian menunjukkan efisiensi tertinggi didapatkan sebesar 35,8% ketika perbedaan temperatur fluida masuk dan temperatur lingkungan mendekati nol. Untuk mendapatkan air panas minimal 50°C dengan laju aliran 0.25 L/menit, diperlukan *irradiance* sebesar 750 W/m². Umumnya, selama percobaan diperoleh temperatur keluaran air kolektor pemanas surya dari pukul 8:30-9:40 WIB dan 15:40-17:30 WIB berada dibawah 50°C sedangkan pada pukul 9:40-15:40 didapatkan keluaran air kolektor bertemperatur diatas 50°C. Jadi, dapat disimpulkan bahwa kolektor surya *heat pipe* yang dirancang dapat digunakan untuk menggantikan *evacuated tube collector* dalam memasok kalor untuk *heat pump*. Keuntungan pemakaian kolektor surya *heat pipe* ini cenderung lebih ekonomis dan dapat diproduksi sendiri.

Keywords: *Heat pipe*, kolektor surya, *heat pump*

Pendahuluan

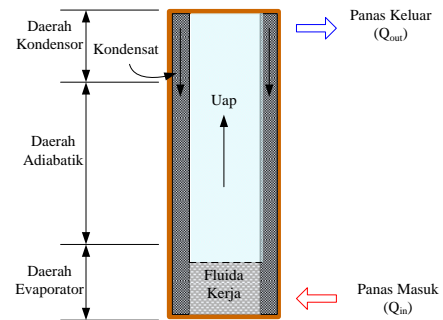
Keberadaan energi matahari telah digunakan oleh semua orang di dunia sejak dulu. Peta intensitas radiasi matahari di Bumi telah pelajari dan diukur oleh para peneliti. Berdasarkan program *Meteonorm* dapat diketahui nilai *irradiance* tahunan setiap Negara di dunia berada pada range 300 kWh/m²-2500 kWh/m². 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/m²/hari. Bandung terletak pada koordinat 107°36' Bujur Timur dan 6°55' Lintang Selatan. Berdasarkan program *Meteonorm* radiasi rata-rata harian berkisar antara 4,5-5,4 kWh/m²/hari. Daerah-daerah di pulau Sumatera dan pulau Kalimantan, serta beberapa daerah di Indonesia Timur memiliki energi radiasi matahari yang

rendah bila dibandingkan dengan beberapa daerah di pulau Jawa, Sulawesi dan beberapa daerah di NTB dan NTT, serta di kepulauan Maluku. Besar energi radiasi matahari tersebut diambil dari pukul 6:00-18:00. Berdasarkan hal tersebut, pertimbangan untuk memanfaatkan energi surya sangat mungkin dilakukan. Usaha pemanfaatan energi surya untuk memberikan sumbangan bagi pemenuhan kebutuhan energi sejak lama telah dilakukan tetapi belum optimal. Arah kebijakan energi dari Kementerian Energi Sumber Daya Manusia di Indonesia telah dibuat berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006. PERPRES tersebut menjadi landasan dikeluarkannya Undang-Undang No 30 Tahun 2007 tentang energi. Undang-Undang tersebut mengatur semua potensi energi yang ada di wilayah Indonesia. Salah satu tujuannya yaitu, konservasi energi dan termemanfaatkannya energi secara efisien di semua sektor. Pada saat ini pemanfaatan energi surya telah dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan teknologi surya fotovoltaik dan teknologi surya termal. Teknologi

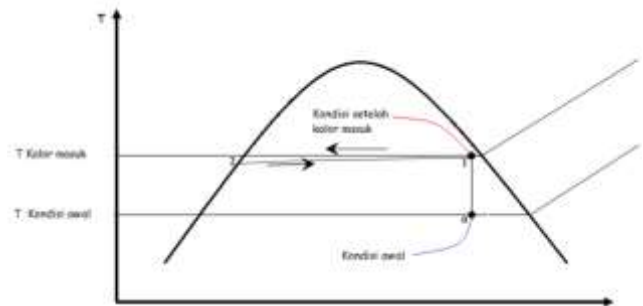
surya fotovoltaik biasanya digunakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik skala kecil seperti penerangan rumah, penyuplai pompa air, penyuplai televisi LCD dan LED, dan lain-lain. Sementara teknologi surya termal dapat digunakan langsung seperti untuk pengering dan pemanas air. Ada banyak proses yang membutuhkan temperatur di atas 100°C , diantaranya adalah proses penyulingan minyak menggunakan uap air panas, proses pembuatan bioetanol yang dibantu dengan uap air panas, proses sanitasi di lingkungan kesehatan dan lain-lain. Berdasarkan hal-hal diatas, timbul keinginan memanfaatkan energi matahari untuk proses-proses tersebut. Agar kebutuhan temperatur diatas 100°C tercapai maka dibutuhkan *heat pump*. Alat ini memanfaatkan panas yang dikumpulkan oleh kolektor surya sebagai energi masuk *heat pump* dan pada bagian kondensor, kalor bertemperatur tinggi dihasilkan. Kalor dari kondensor ini dapat digunakan sebagai penghasil udara panas atau uap panas yang dapat digunakan nantinya untuk berbagai keperluan. Sistem pompa kalor berbantuan pemanas surya ini telah dibuat dan diuji oleh Djuanda dengan menggunakan empat buah kolektor pemanas surya tipe ETC (*Evacuated Tube Collector*). Kolektor surya ETC adalah kolektor tabung hampa yang menggunakan pipa berbentuk U yang ditempatkan di dalam tabung kaca tersebut. Hasil pengujian tersebut, memperlihatkan bahwa kolektor yang dipakai mampu memasok energi pompa kalor untuk menghasilkan uap, dan uap panas akan terbentuk pada sisi *generator* uap jika air panas yang keluar dari kolektor surya minimal 50°C . Laju aliran energi dari kolektor surya yang masuk ke *area evaporator* pompa kalor sebesar 2600 J/s dan temperatur uap yang dihasilkan pada generator uap (pengganti kondensor) sebesar 102°C . Sistem pompa kalor berbantuan pemanas surya pada penelitian tersebut dinilai belum ekonomis, karena harga kolektor pemanas surya yang sangat mahal dimana dibutuhkan Rp 135 juta untuk menyediakan empat buah kolektor. Berdasarkan permasalahan diatas, dibutuhkan kolektor yang mampu menggantikan fungsi kolektor ETC pada sistem pompa kalor dan mampu menghasilkan temperatur air panas minimal 50°C untuk pemasok energi *heat pump*. *Irradiance* matahari yang berfluktuasi, membutuhkan kolektor yang cepat memindahkan energi radiasi matahari namun harganya ekonomis. Menurut teori, *heat pipe* adalah alat pemindah panas yang sangat cepat yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi. Oleh karena itu kolektor yang dibuat menggunakan *heat pipe* sebagai *absorber*. Kolektor surya *heat pipe* ini diharapkan dapat mengumpulkan energi dengan

baik, dan dapat digunakan sebagai pemasok energi *heat pump*.

Prinsip Kerja Heat Pipe



Gambar 1



Gambar 2

Heat pipe merupakan pipa berongga yang kedua ujungnya ditutup setelah sejumlah fluida kerja ditempatkan di dalamnya. Secara umum *heat pipe* bekerja memanfaatkan kalor laten dari fluida kerja. Proses perpindahan panas pada *heat pipe* 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* *heat pipe*. 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. 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*.

Secara sederhana siklus yang terjadi pada *heat pipe* 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 *heat pump*.
dipindahkan keluar *heat pipe*
2-1 Peristiwa evaporasi

Fluida Kerja Heat Pipe

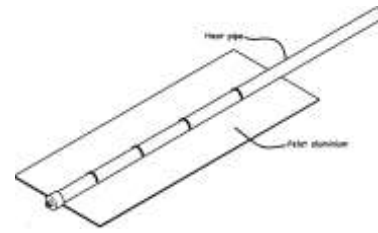
Fluida kerja berfungsi untuk memindahkan panas dari evaporator ke kondensor. Untuk itu harus dipilih fluida kerja yang memiliki temperatur titik cair di bawah temperatur operasi dan memiliki temperatur kritis di atas temperatur operasi dan memiliki kalor laten yang tinggi.

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 m² 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.

Kolektor Surya Heat Pipe

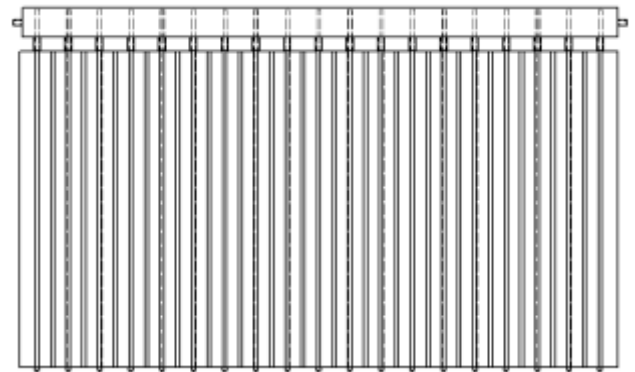
Secara umum, kolektor surya rancangan ini termasuk tipe kolektor surya pelat datar. Hal yang membedakan terletak pada jenis *absorber* yang digunakan. *Absorber* kolektor ini, menggunakan teknologi *heat pipe*. *Heat pipe* ditempelkan di atas pelat aluminium seperti yang terlihat pada Gambar 3. *Heat pipe* yang telah ditempelkan, dimasukkan ke dalam *manifold* kolektor surya melewati kondensor *heat pipe* seperti yang ditunjukkan Gambar 4 dan 5. 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 6. 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



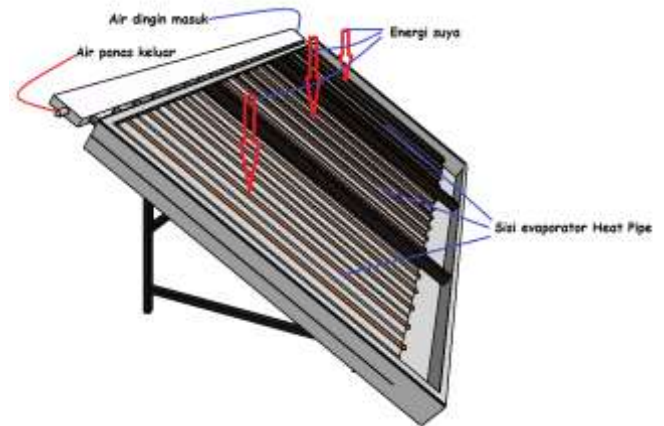
Gambar 3



Gambar 4



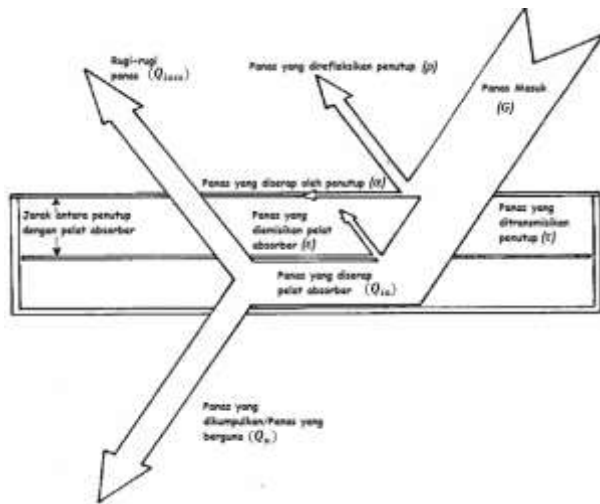
Gambar 5



Gambar 6

Kesetimbangan Energi Pada Kolektor Surya

Langkah awal untuk melakukan analisis kolektor surya adalah dengan menerapkan hukum termodinamika I yang berbicara tentang kekekalan energi. Kesetimbangan 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 7 dibawah ini:



Gambar 7

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 dibawah ini:

$$Q_i = A_a \cdot G$$

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 ($\tau \alpha$) dengan *irradiance* matahari yang datang (G)

$$Q_{in} = A_a \tau \alpha \cdot G$$

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 berikut:

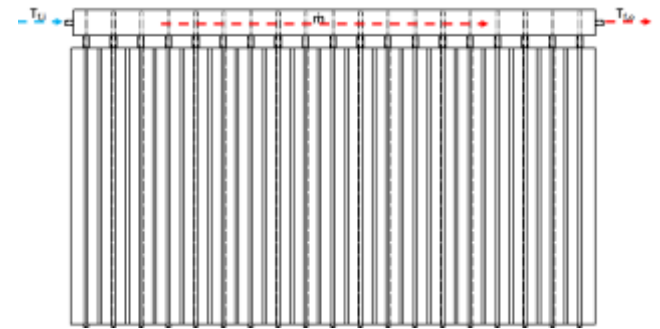
$$Q_{loss} = U_L \cdot A_g (T_{p,m} - T_a)$$

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 di bawah ini:

$$Q_u = \tau \alpha \cdot G - U_L \cdot A (T_{p,m} - T_a)$$

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 4:



Gambar 8

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

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 5:

$$Q_u = F_R \cdot A_a \cdot (G \tau \alpha - U_L (T_{f,i} - T_a))$$

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 6:

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

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

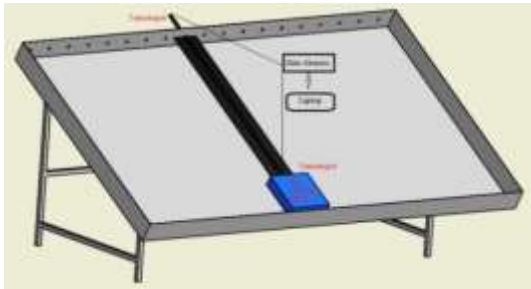
Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Pengujian Heat Pipe

Pengujian *heat pipe* dilakukan sebelum pemasangan *absorber heat pipe* pada kolektor pemanas surya. Pengujian dilakukan pada berbagai rasio pengisian fluida. Rasio pengisian (*filling ratio*) adalah perbandingan volume fluida di dalam *heat pipe* dengan volume rongga dalam *heat pipe*. Dalam hal ini rasio pengisian yang diuji adalah 5%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kecepatan respon *heat pipe* dalam memindahkan panas. Indikator yang dilihat adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak atau dikenal dengan istilah thermal time constant (τ). Hal Ini bisa diketahui dengan mengukur temperatur sumber panas pada *evaporator heat pipe* dan temperatur energi yang dipindahkan pada sisi kondensor *heat pipe*. Pengujian ini dilakukan dengan dua sumber panas, pertama dengan pemanasan *heat pipe* dengan air 1.000 mL pada temperatur 100 °C, berikutnya pemanasan dengan radiasi matahari langsung. Dengan melakukan pengujian ini diharapkan bisa mendapatkan *heat pipe*

yang tepat untuk dipasang pada kolektor pemanas surya.

Pengujian Heat Pipe dengan Pemanasan Heat Pipe dengan Air 1L pada Temperatur 100 °C



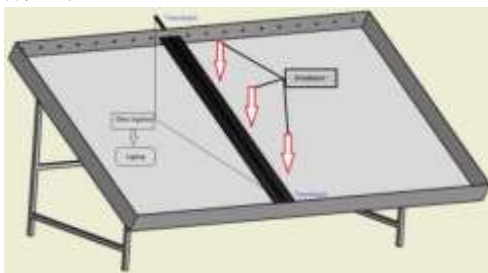
Gambar 9

Prosedur untuk melakukan pengujian adalah:

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

Pengujian Heat Pipe dengan Radiasi Langsung

Pengujian ini dilakukan untuk memprediksi apakah *heat pipe* mampu bekerja untuk memanaskan air pada kolektor surya. Pengujian ini dilakukan selama 8 menit pada radiasi rata-rata 700 W/m².



Gambar 10

Prosedur untuk melakukan pengujian adalah

1. *Heat pipe* yang diuji adalah *heat pipe* yang telah dipilih pada pengujian *heat pipe* dengan sumber panas 1.000 mL air pada temperatur 100 °C.
2. Pengujian dilakukan pada tempat yang sama, hari dan jam yang sama

3. Letakkan *absorber heat pipe* ke tempat pengujian seperti yang terlihat pada Gambar IV.2.
4. Pasang termokopel pada sisi *evaporator* dan kondensor *heat pipe*.
5. Hubungkan kabel termokopel ke data aquisisi.
6. Sebelum merekam data temperatur, tutup bidang *absorber heat pipe* agar radiasi tidak masuk.
7. Jika persiapan pengujian sudah matang, buka penutup dan rekam data temperatur evaporator dan kondensor dengan laptop.

Pengujian performansi Kolektor

Untuk mengetahui performansi dari kolektor *heat pipe* pelat datar, maka perlu dilakukan pengujian. Pengujian dapat dilakukan di luar ruangan dengan radiasi matahari alami maupun di dalam ruangan dengan menggunakan radiasi artifisial. Agar diperoleh hasil eksperimental mendekati keadaan yang sebenarnya, dalam tesis ini pengujian dilakukan di luar ruangan. Pengujian kolektor dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pengujian kalorimetrik dan pengujian sesaat. Pengujian kalorimetrik digunakan untuk *close loop system*, dan biasanya sistem dilengkapi dengan tangki penyimpanan. Pada pengujian sesaat, yang diuji hanya terfokus pada kolektor, dan diperlukan pengukuran secara bersamaan, laju aliran massa fluida, perbedaan temperatur masuk dan keluar kolektor, dan intensitas radiasi yang datang di bidang kolektor. Karena pengujian yang akan dilakukan hanya terfokus pada kinerja kolektor, maka dalam tesis ini diterapkan pengujian sesaat.

Pengujian kolektor ini mengikuti standar yang ditetapkan ASHRAE 93. Lembaga-lembaga lain yang mengembangkan pengujian ini adalah, ISO 9806, UNE-EN 12975-2, ASTM E 905-87. Parameter – parameter yang diukur secara umum sama, yaitu :

1. Intensitas radiasi matahari
2. Temperatur fluida masuk ke kolektor
3. Temperatur fluida keluar dari kolektor
4. Temperatur sekeliling
5. Laju aliran massa fluida

Dengan parameter tersebut efisiensi kolektor surya *heat pipe* dapat dihitung.

Skema dan Sistematika Pengujian



Gambar 11

Sistematika pengujian adalah sebagai berikut:

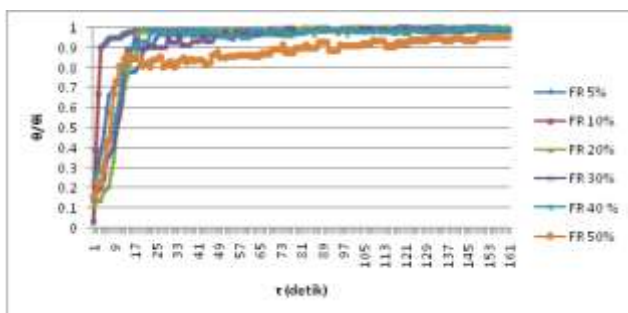
1. Fungsikan tangki *head* konstan untuk mengatur laju aliran air yang akan dipanaskan.
2. Setelah debit diatur, air dialirkan masuk kolektor melewati saluran yang di dalamnya terdapat sisi kondensor *heat pipe*.
3. Setelah keadaan tunak dicapai, pengukuran dilakukan meliputi:
 - a. Pengukuran intensitas radiasi surya
 - b. Pengukuran temperatur fluida masuk kolektor
 - c. Pengukuran temperatur fluida keluar kolektor
 - d. Pengukuran temperatur keliling

Adapun alat-alat yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. Kolektor pemanas surya, 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. Reservoar 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.

Hasil dan Pembahasan

Data Pengujian Pemilihan *Heat Pipe*



Gambar 12

Untuk mengambil kesimpulan *heat pipe* yang akan dipilih, maka ditampilkan Gambar 12. yang

memperlihatkan kecepatan respon *heat pipe* (τ).

Nilai kecepatan respon dari *heat pipe* ini, dapat ditentukan besarnya pada rentang waktu tertentu untuk kedua jenis pengujian. Kecepatan respon *heat pipe* ini, mengindikasikan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak. Terlihat jelas pada Gambar 12 diatas, keseluruhan *heat pipe* 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 *heat pipe* yang mempunyai respon yang cukup baik, yaitu *heat pipe* dengan *heat pipe filling ratio* 10%.

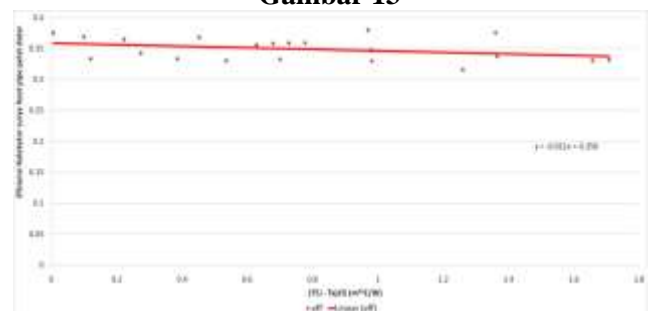
Pertimbangan lain meliputi masalah kekeringan fluida (*dryout*) pada sisi *evaporator*. Dimana kondisi *dryout* ini perlu dihindari karena berpengaruh pada operasi kerja *heat pipe*. Jika kondisi ini terjadi, maka proses transformasi panas pun terhenti, karena tidak ada lagi fluida yang akan diuapkan.

Mengingat sumber panas pada sisi *evaporator heat pipe* bersumber dari radiasi matahari maka kebutuhan *heat pipe* untuk kolektor surya dengan *filling ratio* 10 % dipilih. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan karakteristik *heat pipe* yang memberikan respon yang paling baik terhadap energi masuk dan kapasitas pemindahan panas yang lebih besar dibandingkan dengan semua *filling ratio* lainnya dan kemampuan *heat pipe* dengan *filling ratio* 10% dalam mencegah terjadinya *dry out* (kekeringan).

Data Pengujian Kolektor Surya *Heat Pipe*



Gambar 13



Gambar 14

Pengujian kolektor pemanas surya telah dilakukan sehingga data-data hasil pengujian dapat diplot. 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 gedung

laboratorium surya. Dari hasil data-data selama pengujian dapat disimpulkan bahwa kolektor yang dirancang mampu menghasilkan air panas melewati temperatur 50°C selama waktu lebih kurang 6 jam dan ini bisa dicapai jika kondisi cuaca tidak hujan atau berawan tebal serta radiasi minimal 750 W/m^2 .

Pada Gambar 13. data-data yang berada pada garis elip yang berwarna ungu diolah sebagai contoh untuk menghitung efisiensi kolektor sesaat.

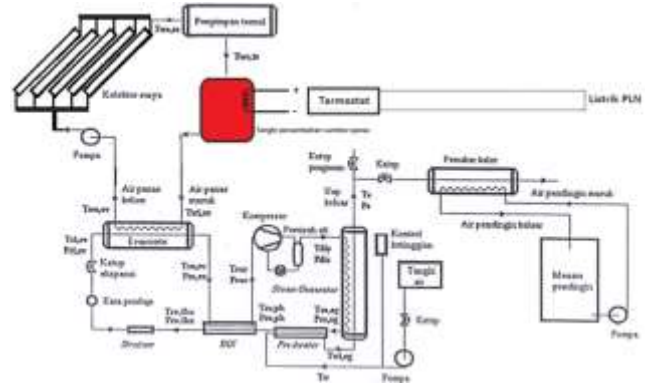
Dalam perhitungan efisiensi, data-data diolah menjadi bersegmen-segmen dengan selang waktu selama 5 menit. Kemudian, untuk setiap segmen, efisiensi sesaat kolektor dihitung dengan menggunakan persamaan 6. Data – data ini diolah ke dalam bentuk grafik yang umum digunakan untuk kolektor pemanas surya dan ditunjukkan pada Gambar 14.

Dari hasil pengujian kolektor surya *heat pipe* tersebut, diperoleh bahwa kenaikan temperatur yang terjadi sebesar 33°C . Ini didapat pada kondisi pengujian: intensitas radiasi rata-rata 900 W/m^2 , temperatur rata-rata fluida masuk 30°C , temperatur rata-rata keliling 29°C , dan kecepatan angin 0 - 5 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 ($T_{f,i} - T_a$). Efisiensi sesaat kolektor akan turun jika nilai ($T_{f,i} - T_a$) meningkat. Efisiensi kolektor tertinggi didapatkan bernilai 35.8 %. Ini terjadi pada saat perbedaan temperatur fluida masuk dengan temperatur lingkungan mendekati nol. Hasil pengujian kolektor ini juga memberikan laju aliran energi yang berguna pada kolektor sebesar $591,8 \text{ J/s}$.

Tidak semua fluida keluaran kolektor surya dapat dimanfaatkan untuk memasok energi *heat pump*. Hal ini disebabkan, karena terkadang temperatur fluida kolektor minimal 50°C belum tercapai. Pada Gambar 13 temperatur fluida keluaran kolektor minimal 50°C , tercapai pada pukul 9:45 sampai pada pukul 15:20. Ini berarti sistem *heat pump* dapat bekerja pada kisaran waktu tersebut sebab fluida keluaran kolektor dapat langsung dimanfaatkan untuk memasok energi *heat pump*. Namun fluida keluaran kolektor pemanas surya sebelum pukul 9:40 dan setelah pukul 15:20 belum memenuhi persyaratan untuk memasok energi *heat pump* karena temperatur fluida keluaran kolektor kurang dari 50°C . Penambahan sedikit energi masuk dari sumber yang lain diperlukan untuk meningkatkan temperatur fluida keluaran kolektor yang tidak mencapai temperatur 50°C . Luas daerah yang berwarna jingga pada Gambar 13 merupakan gambaran energi yang harus ditambahkan pada fluida keluaran kolektor untuk mencapai

temperatur 50°C . Energi minimal yang harus ditambah agar temperatur fluida keluaran kolektor surya minimal 50°C adalah $0,355 \text{ kWh}$ sebelum pukul 9:45 dan $0,402 \text{ kWh}$ setelah pukul 15:20.

Langkah lain dalam mencukupi kekurangan energi ketika air panas keluaran kolektor kurang dari 50°C adalah dengan membuat penyimpanan energi termal dan penambahan sedikit energi listrik dari PLN. Untuk lebih jelas sistem ditampilkan seperti Gambar 15 berikut:



Gambar 15

Air panas yang dihasilkan oleh kolektor surya *heat pipe* sebelum masuk ke *evaporator heat pump* dialirkan terlebih dahulu melalui penyimpanan energi termal. Teknik penyimpanan energi adalah dengan memanfaatkan material peubah fasa. Air panas dari kolektor surya masuk ke penyimpanan energi termal, dimana konstruksinya berbentuk penukar kalor tipe *Shell and Tube* dengan air panas mengalir di dalam pipa dan material peubah fasa pada bagian cangkang. Ketika air panas yang dihasilkan oleh kolektor surya melebihi temperatur titik lebur material peubah fasa maka material peubah fasa akan mencair karena energi dari air panas telah diberikan ke material tersebut, dan apabila air yang keluar dari kolektor surya di bawah temperatur titik lebur material peubah fasa maka energi dari material tersebut akan dipindahkan lagi kepada air yang mengalir. Serah terima energi ini akan terus berlangsung, dan berhenti jika keadaan sudah setimbang.

Hasil pengujian kolektor ini dapat dijadikan sebagai prediksi untuk jumlah kolektor *heat pipe* pelat datar yang digunakan. Oleh karena kolektor surya *heat pipe* ini akan dijadikan sebagai pemasok energi *heat pump*, dimana satu unit kolektor ini dapat menghasilkan rata-rata laju aliran energi sebesar $591,8 \text{ J/s}$ maka jumlah kolektor yang dibutuhkan adalah sebanyak 5 buah seperti instalasi sistem di atas.

Kesimpulan

Setelah melakukan studi literatur, merancang, membuat, menguji, dan menganalisa tesis ini, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Kolektor surya yang memenuhi DR&O dengan *absorber heat pipe* telah dirancang berukuran $1,13 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, dibuat dan diuji dan dapat menghasilkan air

- dengan temperatur minimal 50°C pada radiasi minimal 750 W/m² selama 20 menit.
2. Efisiensi kolektor sangat dipengaruhi oleh fluktuasi radiasi matahari dan nilai perbedaan temperatur fluida masuk kolektor dengan temperatur lingkungan ($T_{f,i} - T_a$). Efisiensi kolektor tertinggi didapatkan sebesar 35,8 % ketika nilai ($T_{f,i} - T_a$) mendekati nol.
 3. Rata-rata laju aliran energi yang dihasilkan kolektor adalah sebesar 591,8 J/s
 4. Dibutuhkan lima buah kolektor surya heat pipe berukuran 1,13 m x 2 m untuk memasok energi heat pump temperatur tinggi pada penelitian disertasi Djuanda dengan input 2600 J/s pada temperatur air panas besar sama 50°C.

Ucapan Terima kasih

Ribuan Terima kasih saya ucapkan ke pada tim penyelenggara SNTTM XII yang telah menerima paper ini, semoga penyelenggaraanya pada tanggal 23-24 oktober 2013 di Bandar Lampung berjalan lancar dan sukses. Selanjutnya kepada Dr.Aburrachim sebagai inspirator sehingga paper ini dapat dibuat. Seterusnya kepada peserta SNTTM unila semoga dengan kehadirannya dapat menjalin silaturahmi dan mempererat hubungan sesama dosen teknik mesin se Indonesia serta memajukan kualitas jurusan teknik mesin Indonesia.

Nomenklatur

- Q Laju aliran energy (J/s)
G Irradiance(Wm⁻²)
A Luas area kolektor (m²)
C Panas jenis (J/kg.K)
F Faktor pemindah panas
U Koefisien perpindahan panas
T Temperatur (°C)

Greek letters

- τ Koefisien transmisi
 α Koefisien absorpsi

Subsripts

- i Inlet
a Aperture
o Outlet
u Useful
g gross
R Removal
f Fluid
L Losses
a ambient
p Pressure

- p Plat
m mean

Referensi

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.

Reay, D., & Kew, P. (2006). *Heat pipes Theory, Design, and Application*. Great Britain: Butterworth-Heinemann Publication.

B&K Engineering. (1979). *Heat Pipe Design Handbook*. Maryland: Nasa.