

Penggunaan Pipa Kalor Piph sebagai Pendingin Sel Surya

Rahmat Subarkah¹, Tatum H Nufus¹, Muhammad¹, Rachman Kurniawan¹,
Rizky Erfiansyah¹, Taufik Adriansyah¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia.
E-mail:rahmat.subarkah@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Peningkatan suhu permukaan sel surya dapat menurunkan efisiensi sel surya. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan suhu sel surya menggunakan pipa kalor pipih sebagai penghantar panas. Pipa kalor yang digunakan dibuat berpenampang pipih sehingga permukaan sentuh menjadi lebih luas. Permukaan sentuh yang luas akan mempercepat laju perpindahan panas yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi sel surya. Penelitian ini dimulai dengan membuat pipa kalor. Pipa tembaga berdiameter $\frac{1}{4}$ inchi (6,3 mm) ditekan hingga mencapai ketebalan 4,2 mm. Pipa kalor menggunakan *wire screen mesh* 200 dan air sebagai fluida kerja sebanyak $\pm 10\%$ dari volume pipa. Setelah itu pipa divakum hingga tekanan 0,0799 bar. Pipa kalor pipih diletakkan dibawah permukaan sel surya. Pipa kalor tersebut dihubungkan dengan penukar panas yang dialiri air sehingga panas yang dibawa pipa kalor akan berpindah ke air. Perubahan fasa cair-gas pada fluida kerja di dalam pipa kalor terjadi pada suhu saturasi 42°C. Pipa kalor pipih ini terbukti berhasil menurunkan suhu permukaan sel surya sebesar 8°C dan meningkatkan efisiensi sel surya sebesar 0,2%. Selain itu, peralatan ini juga menghasilkan air panas yang merupakan keuntungan thermal

Keyword: *pipa kalor pipih, photovoltaic*

Pendahuluan

Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil di seluruh dunia semakin hari semakin menipis, dikarenakan energi tersebut tidak dapat diperbaharui. Sedangkan kebutuhan energi dunia meningkat dari tahun ke tahun, juga ditambah dengan banyaknya desakan untuk melindungi bumi dari pemanasan global dan polusi lingkungan membuat tuntutan untuk segera mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi terbarukan.

Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan usaha-usaha untuk mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharukan. Diantara sumber energi terbarukan yang saat ini banyak dikembangkan seperti energi tenaga air, *geothermal*, tenaga hidrogen, gelombang air laut dan energi matahari.

Keunggulan dari energi matahari/solar ini dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya adalah berlimpah dan tidak bersifat polutif, gratis, tidak pernah habis dan dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun tidak langsung serta merupakan sumber energi sepanjang masa. Potensi penggunaan energi matahari ini sudah cukup banyak dimanfaatkan diantaranya untuk penyiraman, pemanas air, pengering hasil pertanian, perikanan,

perkembangan tumbuhan, sebagai bahan bakar dan penghasil tenaga listrik.

Pemanfaatan energi surya telah mengembangkan sebuah teknologi yang dikenal dengan istilah *photovoltaic*, yaitu sebuah teknologi yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Namun permasalahan mendasar pada teknologi ini adalah efisiensi yang rendah, saat ini efisiensi untuk sel surya komersial berkisar antara 10-17% tergantung material penyusunnya. Efisiensi sel surya juga akan mengalami penurunan bila suhu permukaannya semakin tinggi, untuk itu sel surya perlu didinginkan agar suhunya berkurang sehingga efisiensinya meningkat.

Sebuah konsep *photovoltaic/thermal* diajukan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan membuat suatu sistem untuk meningkatkan efisiensi sel surya dengan cara mendinginkan sel surya menggunakan pipa kalor sebagai penghantar panas. Panas yang diserap oleh pipa kalor nantinya akan digunakan untuk memanaskan air. Namun sistem ini masih memiliki kekurangan, pipa kalor yang dipakai saat ini memiliki bentuk penampang lingkaran menyebabkan permukaan pipa yang bersentuhan dengan sel surya kecil. Hal tersebut tentu akan mempengaruhi laju perpindahan panas dari sel surya ke air di dalam pipa kalor.

Oleh karena itu pada rancang bangun akan mengubah bentuk penampang pipa kalor menjadi pipih, sehingga luas permukaan pipa kalor yang bersentuhan dengan sel surya akan semakin besar dan perpindahan panasnya semakin cepat. Hal ini akan berpengaruh pada efisiensi sel surya tersebut.

Tinjauan Pustaka

Potensi Energi Surya di Indonesia

Indonesia sangat berpotensi untuk menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia terletak pada khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima permukaan di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun.

Penggunaan sel surya di Indonesia sudah dilakukan sejak beberapa tahun lalu. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) sudah mengembangkan aplikasi teknologi sel surya dengan menggunakan panel sel surya impor sejak tahun 1980. Sistem fotovoltaik ini dipasang di daerah terpencil seperti Sumba, Sipirok di Sumatera Utara, Pelaw di Maluku, Kepulauan Seribu, Nusa Penida, dan beberapa daerah terpencil lainnya. LEN merupakan salah satu industri PLTS di Indonesia yang telah dapat memproduksi komponen elektroniknya. Sejak tahun 1988 LEN telah terlibat secara aktif dalam mengembangkan sistem PLTS terutama untuk aplikasi sistem komunikasi dan pemancar TV untuk pedesaan, Stasiun Bumi Kecil (SBK) dan Solar Home Sistem (SHS) [1].

Fotovoltaik (Photovoltaic/PV)

Konversi langsung radiasi matahari menjadi energi listrik adalah cara paling nyaman dalam pemanfaatan energi matahari. Keuntungan dari menggunakan efek fotovoltaik (*Photovoltaic/PV*) untuk menghasilkan energi listrik adalah tidak memproduksi polutan selama operasi, tidak menimbulkan suara/hening, usia pakai dalam waktu lama dan pemeliharaan yang rendah. Selain itu, energi matahari berlimpah, bebas, bersih dan tidak ada habisnya.

Kinerja sebuah modul *PV* sangat tergantung pada ketersediaan radiasi matahari dan suhu modul *PV*. Dengan demikian, pengetahuan dan pemahaman tentang kinerja modul *PV* di bawah kondisi operasi yang berbeda adalah sangat penting dalam pemilihan produk yang benar dan prediksi yang akurat akan kinerjanya. Banyak penelitian yang telah dilakukan pada analisis faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi kinerja modul *PV*. Kerr. MJ dan Cuevas. A, 2003, menyajikan sebuah teknik baru, yang dapat menentukan karakteristik arus - tegangan (I-V) pada modul *PV* didasarkan pada mengukur

secara bersamaan rangkaian tegangan *V* terbuka sebagai fungsi dari intensitas cahaya yang bervariasi secara perlahan-lahan [2]. Peneliti lainnya umumnya menganalisis pengaruh suhu terhadap kinerja modul *PV*. Ada juga beberapa model efisiensi daya, yang dapat memprediksi kinerja secara dinamis sesaat atau rata-rata dari sebuah sistem *PV* di bawah kondisi iklim bervariasi [3], [4], [5], [6].

Pipa kalor

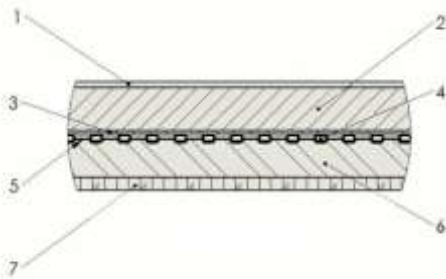
Pipa kalor yang ditempatkan pada dua daerah yaitu daerah panas dan daerah dingin, merupakan penghubung kedua daerah tersebut dengan konduktivitas termal yang sangat tinggi, mendekati material superkonduktor. Hal ini dapat terjadi karena perpindahan panas pada pipa kalor disertai dengan proses penguapan dan pengembunan fluida di dalamnya.

Beberapa penelitian sebelumnya tentang pipa kalor antara lain Jaroslaw Legierski et al (2006), menunjukkan permodelan dan pengukuran perpindahan panas dan massa pipa kalor, termasuk penguapan dan kondensasi dalam pipa. Teori dibandingkan dengan pengukuran eksperimental menggunakan kamera thermografik dan termometer kontak. Tujuan penelitian ini adalah menentukan keefektifan konduktivitas termal pipa kalor dalam kondisi transien dan kenaikan temperature [7]. Sameer Khandekar et al (2008), meneliti pengaruh nano fluida (Al_2O_3 , CuO , dan laponit clay) karena potensial untuk memperbaiki konduktivitas termal, meningkatkan koefisien perpindahan panas fasa tunggal dan fluks panas pendidihan kritis. Pengamatan dilakukan pada thermosyphon dan menunjukkan performansi yang buruk dibandingkan dengan air murni. Pengamatan terhadap keterbasahan (wettability) pada groove permukaan kasar menunjukkan bahwa nanofluida lebih bagus daripada air murni [8]. Salem A Said dan Bilal A Akash (1999), mengkaji secara eksperimen pipa kalor dengan sumbu cooton dan tanpa sumbu untuk berbagai orientasi 30° , 60° , 90° , dan horisontal. Hasil menunjukkan sumbu berpengaruh signifikan terhadap koefisien perpindahan panas total [9]. Shung Wen Kang et al, (2002), mengembangkan radial groove mikro pipa kalor dengan tiga lapisan struktur. Dalam penelitian ini ada lapisan yang digunakan untuk memisahkan aliran uap dan kondensat yang bertujuan untuk mengurangi gaya geser viscous. Hasil evaluasi untuk pengisian 70% menunjukkan performace terbaik dibanding pengisian dibawahnya[10]. G.S. Hwang et al (2007), meneliti modulated wick pipa kalor. Modulasi wick dengan groovees memberikan luas permukaan ekstra untuk enhance axial kapilaritas aliran liquid dan luas permukaan evaporasi dengan hanya menambah wick

superheat. Optimasi modul wick telah didapatkan untuk pipa kalor circular dan datar dalam closed-form untuk regim aliran viscous [11]. Hagens et al (2007), mengaplikasikan pipa kalor panjang jenis thermosyphon pada penukar panas. Hasil menunjukkan pipa kalor sebagai penukar panas merupakan alternatif yang baik untuk penukar udara-udara dalam proses pengkondisian ketika udara-air tidak memungkinkan [12].

Metodologi

Pipa kalor dibuat dengan menggunakan pipa tembaga berdiameter $\frac{1}{4}$ inch dengan panjang 700 mm. Pipa tersebut dipipihkan hingga ketebalannya menjadi 4,9 mm. Jumlah pipa kalor yang dibutuhkan sebanyak 43 buah dengan jarak antar sumbu sebesar 15 mm. Wick screen mesh yang digunakan adalah stainless steel screen berukuran 200 mesh. Pengisian fluida kerja sebanyak 10 % dari total volume pipa kalor yang telah dibuat. Pipa kalor tersebut divakum pada tekanan 0,0799 bar.

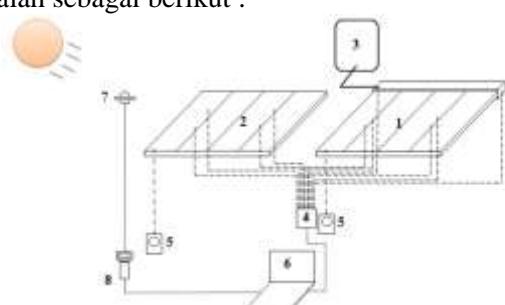


Gambar 1. Gambar Potongan tampak depan sel surya berpendingin pipa kalor pipih.

1 = Plat tembaga. 2 = Sel surya. 3 = Alumunium Foil.

4 = Pipa Kalor pipih. 5 = Isolator karet. 6 = papan kayu

Teknik pengambilan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Skema teknik pengambilan data.

1:Sel surya pendingin pipa kalor pipih. 2:Sel surya tanpa pendingin. 3:Tangki air. 4:Datalogger suhu. 5:Multimeter. 6:PC. 7:Pyranometer. 8:Datalogger Pyranometer

Dalam penelitian ini data yang dikumpulkan adalah intensitas radiasi cahaya matahari, arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh sel surya, suhu air masuk

dan keluar box penukar kalor, suhu permukaan atas dan bawah sel surya, debit air pendingin.

Prosedur Pengambilan Data

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengambilan data pada saat pengujian adalah menetapkan debit aliran air pendingin menggunakan gelas ukur dan stopwatch sebesar 200, 250, 300, 350 dan 400 ml/menit, mengukur arus dan tegangan listrik yang dihasilkan sel surya, mengukur suhu permukaan sel surya setiap 10 menit dan melakukan pengujian dari jam 08.00 – 15.00.

Penentuan Perbanding Pengisian (Filling Ratio) Fluida kerja

Salah satu proses yang sangat penting dalam membuat pipa kalor adalah menentukan perbandingan fluida kerja terhadap volume total pipa kalor. Besarnya *filling ratio* fluida kerja dapat menyebabkan rambat panas pipa kalor semakin lama karena semakin banyak fluida maka akan membutuhkan lebih banyak kalor untuk menguapkan fluida tersebut.

Akan tetapi, bila sedikit *filling ratio* dapat menyebabkan fluida pada bagian evaporator habis sedangkan uap yang berada di bagian kondensor belum kembali ke bagian evaporator. Akibatnya, pipa kalor kehabisan fluida untuk menghantarkan panas. Pada kondisi ini pipa kalor menjadi panas dan tidak dapat menghantarkan panas.

Pengujian dilakukan menggunakan 4 buah pipa kalor yang diisi fluida kerja dengan *filling ratio* 5%, 10 %, 15 % dan 20 % dari volume total pipa kalor sebesar 16 ml.

Berikut adalah tabel hasil pengujian *filling ratio* fluida kerja pada pipa kalor:

Tabel 1 Hasil pengujian *filling ratio* fluida kerja

No	Filling Ratio (%)	Volume Fluida Kerja (ml)	Waktu rambat panas pipa kalor (detik)
1.	5	0,8	14
2.	10	1,6	16
3.	15	2,4	31
4.	20	3,2	42

Dari table 1 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar *filling ratio* fluida kerja maka semakin labat pula kecepatan rambat panas pipa kalor tersebut. Sangatlah penting untuk menentukan *filling ratio* yang tepat agar pipa kalor memiliki rambat panas yang cepat namun disisi lain juga harus cukup tetap tersedia fluida kerja di bagian evaporator selama pipa kalor bekerja.

Apabila suatu kondisi melebihi dari batas kemampuan *heat pipe* maka *wick* tidak mampu lagi

untuk mengembalikan cairan menuju evaporator, hingga akhirnya evaporator mencapai titik paling kering yang menyebabkan evaporator kelebihan panas (*over heat*) pada pipa kalor.

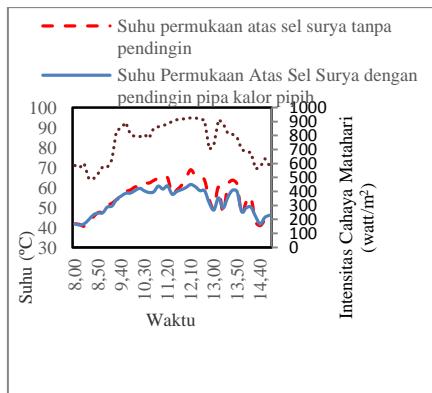
Filling ratio fluida kerja yang dipilih adalah 10 %, jumlah ini dirasa ideal untuk mendapatkan pipa kalor yang bekerja efektif karena memiliki kecepatan rambat panas yang cepat serta dapat menghindari terjadinya *over heat*.

Hasil dan Diskusi

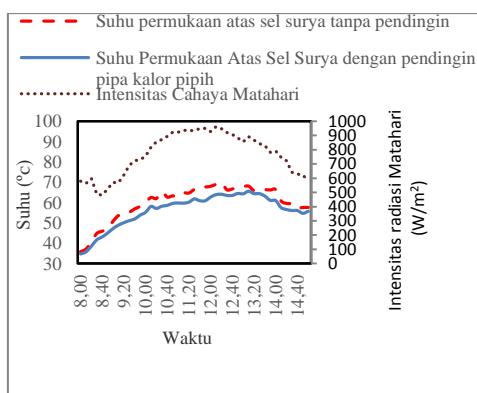
Energi matahari diserap sel surya kemudian dikonversikan menjadi energi listrik, namun tidak semua energi yang diserap dikonversi menjadi energi listrik melainkan juga menjadi energi panas. Energi panas yang timbul pada permukaan sel surya kemudian terkonduksikan ke plat tembaga yang berada dibawahnya.

Panas yang terserap plat tembaga kemudian terkonduksikan ke bagian evaporator pipa kalor, kalor yang terserap kemudian merambat ke bagian kondensor pipa kalor yang berada di dalam kotak penukar kalor dan dialiri air pendingin.

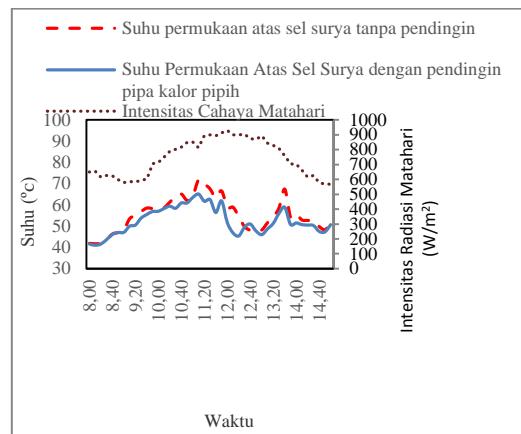
Perpindahan panas secara konveksi terjadi pada bagian kondensor pipa kalor dan sirip-sirip yang berada di dalam kotak penukar panas yang mengakibatkan suhu air pendingin meningkat.



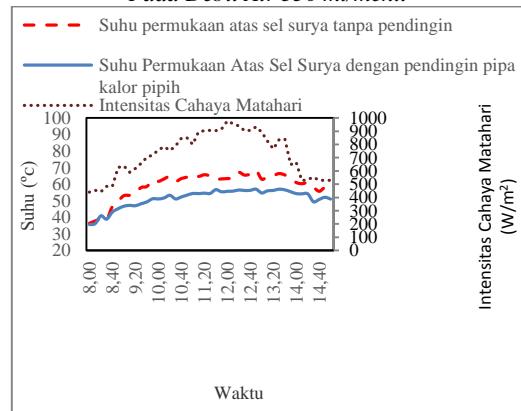
Gambar 3 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan atas sel surya Pada Debit Air 200 ml/menit



Gambar 4 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan atas sel surya Pada Debit Air 250 ml/menit



Gambar 5 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan atas sel surya Pada Debit Air 350 ml/menit



Gambar 6 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan atas sel surya Pada Debit Air 400 ml/menit

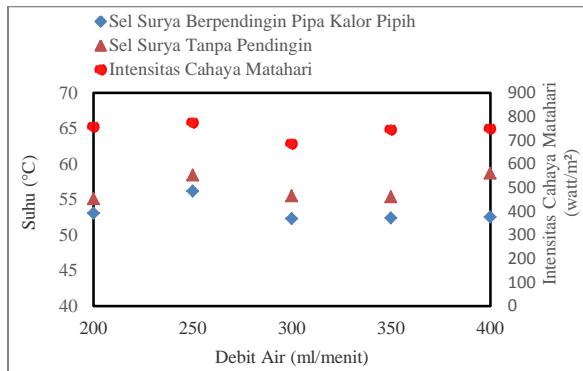
Dari gambar 3, 4, 5 dan 6 di atas dapat dilihat perbedaan suhu permukaan atas antara sel surya berpendingin dan sel surya tanpa pendingin. Berdasarkan hasil pengujian, terjadi perbedaan suhu yang cukup besar setelah suhu permukaan sel surya mencapai 50°C. Pada suhu dibawah 50°C selisih suhu permukaan sel surya berpendingin dan sel surya tanpa pendingin mendekati nol, ini berarti hanya sedikit sekali kalor yang diserap dan diantarkan oleh pipa kalor.

Pipa kalor dengan fluida kerja berupa air divakum pada tekanan 0,0799 bar. Pada tekanan tersebut, suhu saturasi air sebesar 42°C. Pada suhu dibawah suhu saturasi, kalor yang diserap digunakan untuk meningkatkan suhu fluida kerja. Pada suhu saturasi, panas yang diserap pada bagian evaporator digunakan untuk mengubah fasa fluida dari cair menjadi uap. Pada saat inilah uap merambat dengan cepat menuju bagian kondensor sambil membawa kalor.

Berdasarkan pengujian, pada suhu 30 - 50°C panas yang diserap oleh pipa kalor digunakan untuk meningkatkan suhu fluida dan belum dapat mengantarkan panas dari evaporator menuju kondensor dan suhu permukaan sel surya belum mengalami pendinginan.

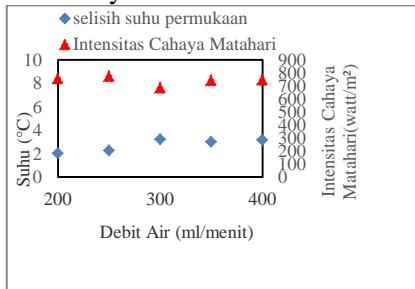
Suhu permukaan rata-rata sel surya

Suhu permukaan sel surya diukur pada beberapa titik di bagian atas. Hasil rata-ratanya ditunjukkan pada gambar 7 berikut.



Gambar 7 Grafik Suhu Permukaan Sel Surya Terhadap Variasi Debit.

Hasil pengujian, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7, memperlihatkan bahwa suhu permukaan sel surya rata-rata yang dicapai bergantung pada intensitas radiasi matahari. Semakin besar intensitas radiasi matahari maka akan semakin meningkatkan suhu permukaan sel surya. Sedangkan, semakin besar laju aliran air pendingin akan menurunkan suhu permukaan sel surya.



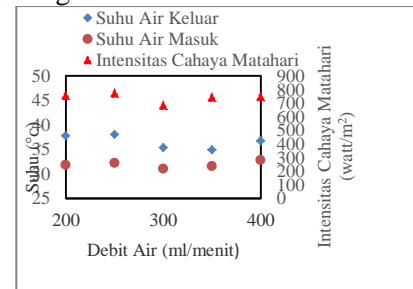
Gambar 8 Grafik Selisih Suhu Permukaan sel surya Terhadap Variasi Debit.

Dari gambar 8 diatas dapat dilihat selisih suhu permukaan sel surya terhadap variasi debit air. Semakin besar debit air yang diberikan maka semakin besar selisih suhu permukaan antara sel surya yang diberi pendingin dengan sel surya tanpa pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa debit air yang besar akan mempercepat penurunan suhu pada pipa kalor yang terkonduksikan oleh pelat tembaga yang berada di bawah permukaan sel surya dan akhirnya mengakibatkan suhu permukaan sel surya lebih cepat berkurang.

Selisih rata-rata suhu permukaan sel surya berpendingin pipa kalor pipih dan sel surya tanpa pendingin terbesar didapatkan pada pengujian debit 400 ml/menit sebesar 6,5°C dan selisih suhu permukaan rata-rata terkecil didapatkan pada pengujian debit 200 ml/menit sebesar 2,0 °C.

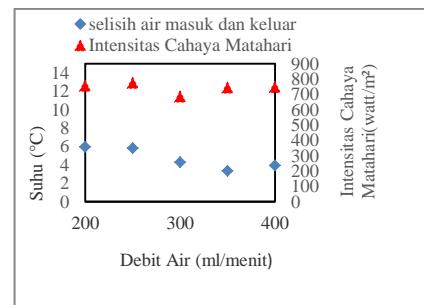
Suhu air masuk dan keluar rata-rata

Suhu air pendingin diukur pada sisi masuk dan sisi keluar alat penukar kalor. Hasil rata-ratanya seperti terlihat pada gambar 9 berikut.



Gambar 9 Grafik Suhu Rata-Rata Air Masuk dan Keluar Terhadap Variasi Debit

Dari gambar 9 diatas dapat dilihat bahwa rata-rata suhu air keluar dipengaruhi oleh debit air dan intensitas radiasi matahari. Semakin besar debit air keluar maka semakin rendah pula suhu air keluar yang dihasilkan. Sedangkan, semakin besar intensitas radiasi matahari akan menaikkan suhu air keluar yang dihasilkan. Rata-rata suhu air keluar terbesar ada pada variasi debit 250 ml/menit yaitu sebesar 37 °C.

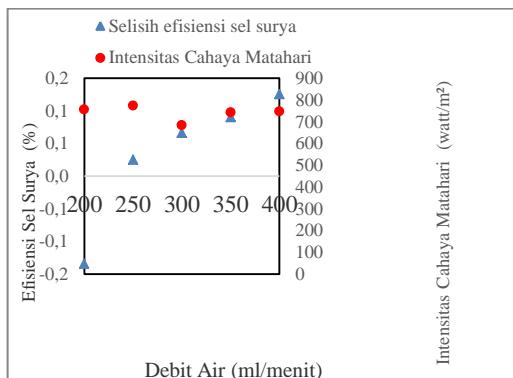


Gambar 10 Grafik Rata-rata Selisih Suhu Air Masuk dan Keluar Terhadap Variasi Debit

Dari gambar 10 diatas dapat dilihat selisih suhu air masuk dan keluar, semakin besar debit air maka semakin kecil pula selisih suhu air masuk dan keluar. Rata-rata selisih suhu air masuk dan keluar terbesar didapatkan pada pengujian debit 200 ml/menit yaitu sebesar 5,9°C hal ini disebabkan karena debit air yang mengalir paling kecil. Sedangkan rata-rata selisih suhu air masuk dan keluar terkecil didapatkan pada pengujian debit 350 ml/menit sebesar 2,9°C hal ini disebabkan karena debit air yang semakin besar dan intensitas radiasi matahari lebih rendah dibandingkan pada pengujian debit 400 ml/menit.

Efisiensi Rata-rata sel surya terhadap variasi debit

Arus dan tegangan yang dihasilkan diukur dan dibandingkan dengan daya radiasi matahari sehingga dihasilkan efisiensi sel surya. Selisih rata-rata efisiensi sel surya antara sel surya berpendingin dan tidak seperti terlihat pada gambar 11.



Gambar 11 Grafik Selisih Efisiensi sel surya Terhadap Variasi Debit

Dari gambar 11 dapat dilihat efisiensi sel surya berpendingin pipa kalor pipih serta sel surya tanpa pendingin. Secara umum sel surya berpendingin pipa kalor memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding sel surya tanpa pendingin.

Sel surya berpendingin pipa kalor pipih memiliki efisiensi yang lebih besar karena suhu yang tinggi pada permukaan sel surya dialirkan ke pipa kalor yang mentransfer panas ke media pendingin berupa air. Semakin besar debit air pendingin maka semakin besar pula selisih efisiensinya.

Pada debit air 200 ml/menit rata-rata efisiensi sel surya berpendingin pipa kalor pipih lebih rendah daripada sel surya tanpa pendingin. Hal ini disebabkan karena air pendingin pada sisi kondensor pipa kalor dapat mencapai suhu lebih dari 40°C, akibatnya air pendingin tidak dapat mengkondensasikan fluida kerja yang berada di dalam pipa kalor sehingga pipa kalor mengalami kekurangan fluida terkondensasi untuk proses transfer panas selanjutnya. Berikutnya suhu pada permukaan surya tidak dapat didinginkan lagi oleh pipa kalor akibatnya tegangan yang dihasilkan menurun.

Sel surya tanpa pendingin pipa kalor dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar karena panas pada permukaan atas dan bawah didinginkan oleh angin sedangkan sel surya dengan pipa kalor pada debit 200 ml permukaan bagian bawahnya tidak bisa didinginkan oleh pipa kalor maupun angin.

Dari hasil pengujian didapat bahwa selisih efisiensi rata-rata sel surya berpendingin pipa kalor pipih dan sel surya tanpa pendingin terbesar didapatkan pada pengujian debit 400 ml/menit sebesar 0,13% dan selisih efisiensi rata-rata terkecil didapatkan pada pengujian debit 200 ml/menit sebesar -0,13% .

Kesimpulan

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa peralatan sel surya dengan pendingin pipa kalor berpenampang pipih sebagai pendingin sel surya dan penghasil air hangat dapat bekerja dengan baik pada suhu diatas suhu saturasi tekanan vakum fluida kerja

sebesar 42°C. Peralatan *photovoltaic/thermal* dengan pipa kalor sebagai pendingin sel surya dapat menghasilkan air panas dengan suhu rata-rata terbesar 37,7°C pada debit 200 ml/menit, efisiensi rata-rata sel surya terbesar 17,2 % pada debit 300 ml/menit. Suhu air panas maksimum 44,4°C. Pipa kalor berpenampang pipih dapat menyerap dan mentransfer panas dari sel surya ke air pendingin dengan sangat baik, air panas yang dihasilkan juga mampu memenuhi kebutuhan air hangat rumah tangga.

Daftar Pustaka

- [1] Ismet Ika, Herman Agus, Septa Rosa Erlyta, Shobih, 2006, Sel Surya dan Permasalahannya di Industri, Prosiding Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekatronika 2006, Bandung 27-28 Juli 2006, ISBN 979-26-2441-4
- [2] Kerr MJ, Cuevas A, 2003. Generalized analysis of the illumination intensity vs. open – circuit voltage of PV modules. Sol Energy 2003; 76: 263–7.
- [3] Evans DL, 1981. Simplified method for predicting photovoltaic array output. Sol Energy; 27: 555–60.
- [4] Mondol JD, Yohanis YG, Smyth M, Norton B, 2005. Long – term validated simulation of a building integrated photovoltaic system. Sol Energy; 78: 163–76.
- [5] Nishioka K et al, 2003. Field – test analysis of PV – system – output characteristics focusing on module temperature. Sol Energy Mater PV module; 75: 665–671.
- [6] Rahmat Subarkah, 2010. Studi Eksperimental Karakteristik Sel Surya Jenis Mono-Crystalline, Prosiding Seminar Nasional Teknik Fisika 2010, ISSN: 2087-3433, Oktober 2010, Surabaya.
- [7] Legierski, Jaroslaw., Wiecek, Boguslaw., de Mey, Gilbert, 2006. Measurements and simulations of transient characteristic of heat pipe, Microelectronics Reliability 46, 109-115.
- [8] Khandekar, Sameer., Joshi, Yogesh M., Mehta, Balkrishna, 2008. Thermal performance of two-phase thermosyphon using nano fluids, Int. Journal of Thermal Science 47, 659-667.
- [9] Said, Salem A., Akash, Bilal, 1999. Experimental performance of heat pipe, Int. Comm Heat and Mass Transfer 26, 679-689.

- [10] Kang, Shung-Wen., Tsai, Tseng-Hong., Chen, Hong-Chih, 2002. Fabrication and test of radial grooved micro heat pipe, Applied Thermal Enggineering 22, 1550-1568.
- [11] Hwang, G.S., Kavany, M., Andeson, W.G., Zuo, J, 2007. Modulated wick heat pipe, Int. Journal of Heat and Mass Transfer 50, 1420-1434.
- [12] Hagens, H., Ganzevles, F.L.A., Van Der Geld, C.W.M., Grooten, M.H.M, 2007. Air heat exchanger with long heat pipe: Experiment and prediction, Applied Thermal Engineering 27, 2426-2434.