

Studi Eksperimental Photovoltaic/Thermal (PV/T) Dengan Pipa Kalor Sebagai Penghantar Panas

R. Subarkah^{1*}, A. Riorti¹, I. Al-Ghozali¹, Andriyatin¹ dan Risval¹

¹*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, DEPOK 16425, Indonesia*
^{*}*rahmat_subarkah@yahoo.com*

Abstrak

Konversi 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 bersih, tidak menimbulkan suara/hening, usia pakai lama dan pemeliharaan yang mudah, akan tetapi memiliki efisiensi yang rendah. Rendahnya efisiensi sistem PV disebabkan tingginya suhu permukaan PV. Untuk itu perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi listrik PV dengan membuat sistem pendinginan. Salah satu cara untuk mendinginkan atau melepas kalor dari PV adalah dengan memanfaatkan pipa kalor yang memiliki kemampuan menghantarkan kalor sangat baik. Pada penelitian ini dilakukan pengujian peralatan photovoltaic/thermal (PV/T) menggunakan 16 buah pipa kalor berdiameter 0,5 inci dan panjang 80 cm dengan *filling ratio* sebesar 10%. Pipa kalor sebagai penghantar panas diletakkan di bagian bawah permukaan PV. Bagian evaporator pipa kalor diletakkan pada bagian bawah PV sedangkan bagian kondensor pipa kalor diletakkan dalam kotak penukar kalor yang mengalir air pendingin secara paksa. Sisi kondensor dipasang sirip untuk memudahkan perpindahan panas dari pipa kalor ke air. PV yang digunakan adalah jenis *monocrystal* berukuran 50 cm x 85 cm. Pada penelitian ini, peralatan PV/T dapat menghasilkan daya maksimum sebesar 55,3 Watt dengan efisiensi sebesar 22% sedangkan suhu air maksimum yang dihasilkan 42°C dengan debit aliran 200 ml/menit.

Keywords: Energi Surya, Photovoltaic/Thermal (PV/T), Pipa kalor;

Pendahuluan

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.

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.

PV secara langsung mengubah radiasi matahari menjadi listrik dengan efisiensi puncak antara 9-12%. Lebih dari 80% dari radiasi matahari tidak dikonversikan ke energi listrik, tetapi terpantulkan atau diubah menjadi energi panas. Hal ini menyebabkan kenaikan suhu kerja sel PV dan akibatnya menurunkan efisiensi konversi energi listrik (Dubey S. et al, 2009). 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 (Kerr MJ, Cuevas A, 2003). 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 (Evans DL, 1981), (Mondol JD. et al, 2005), (Nishioka K. et al, 2003), (Subarkah R, 2010).

Rendahnya efisiensi sistem PV menyebabkan sistem hibrida *photovoltaic* dan termal (PV/T) diperkenalkan untuk menghasilkan energi listrik dan energi kalor. Untuk itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi PV/T dengan membuat alat konversi energi surya sistem hibrida *Photovoltaic/Thermal (PV/T)* menggunakan pipa kalor sebagai penghantar panas.

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 suhu. 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. 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. 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. G.S. Hwang et al (2007), meneliti modulated wick pipa kalor. Modulasi wick dengan groove 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. 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.

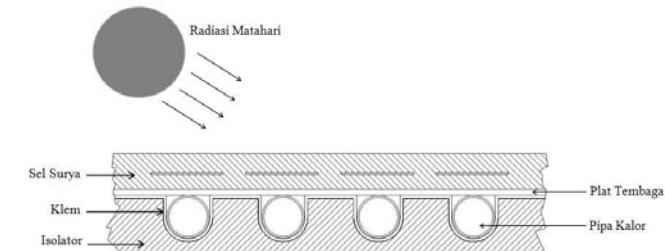
Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Untuk dapat mencapai tujuan penelitian ini, yaitu mendapatkan sistem pendingin sel surya dengan menggunakan pipa kalor yang bekerja pada suhu rendah, maka dilakukan serangkaian studi mulai dari studi literatur, kajian tentang lingkungan dan pengukuran-pengukuran di lapangan, serta penelitian pipa kalor. Setelah dihasilkan komposisi yang tepat maka pipa kalor diterapkan pada sistem penyerap dan mengujinya untuk mengetahui besar penghematan dan efisiensi yang diperoleh oleh sistem.

Bagian utama penelitian ini adalah kajian karakteristik pendinginan sel surya menggunakan pipa kalor. Karena diperlukan peralatan sistem pendinginan

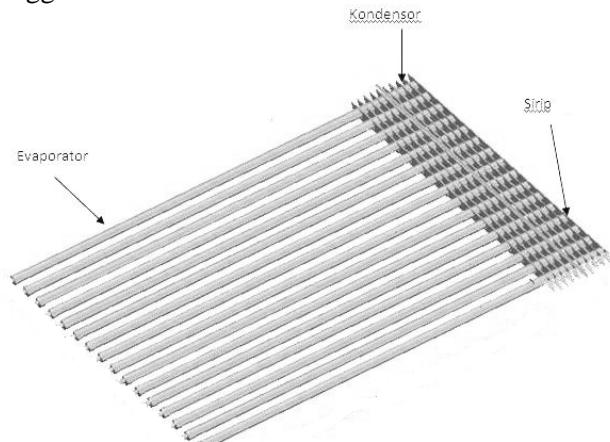
sebagai alat penelitian, maka yang pertama dilakukan pada penelitian ini adalah perancangan, persiapan dan pembuatan/konstruksi peralatan sistem pendinginan sel surya, kemudian dilakukan pengujian performansi dan pengujian karakteristik sistem pendinginan.

Proses perancangan dan pembuatan peralatan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Termal Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta. Alat yang dirancang dan dibuat berupa set-up sel surya, pipa kalor pengantar panas dan perangkat penukar kalor. Sel surya yang digunakan adalah jenis monocrystal dengan ukuran $50 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$. Terdapat 16 buah pipa kalor yang diletakkan pada bagian bawah sel surya. Pipa kalor terbuat dari pipa tembaga dengan diameter 0,5 inchi sepanjang 85 cm. Pipa kalor direkatkan dengan klem dan glass wool sebagai isolator kemudian papan kayu sebagai penahan pada bagian terluar dari peralatan. Fluida pengisi pipa kalor adalah air dengan rasio pengisian fluida (*filling ration*) sebesar 10%.



Gambar 1. Penampang sel surya dan pipa kalor

Bagian evaporator pipa kalor diletakkan pada bagian bawah sel surya agar dapat menyerap kalor sebanyak-banyaknya sedangkan bagian kondensor pipa kalor diletakkan dalam kotak penukar kalor. Bagian kondensor pipa kalor terdapat sirip-sirip yang berfungsi untuk memperluas permukaan sentuh untuk memudahkan pelepasan kalor. Sistem aliran paksa membuat air yang telah menyerap kalor akan mengalami peningkatan suhu kemudian mengalir keluar kotak penukar kalor selanjutnya dapat di manfaatkan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga.



Gambar 2. Rangkaian pipa kalor dan sirip penukar kalor

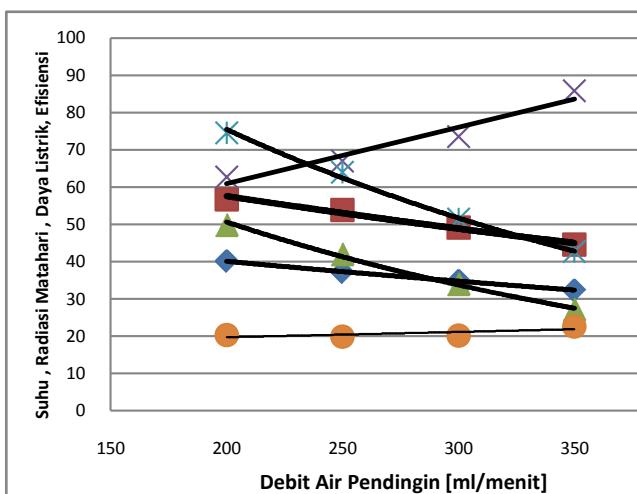
Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah intensitas cahaya matahari, tegangan dan arus yang dihasilkan sel surya, suhu air masuk dan keluar penukar kalor dan suhu pada beberapa titik permukaan sel surya.



Gambar 3. Sel surya dilengkapi dengan pipa kalor dan alat penukar kalor

Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan setiap 15 menit sekali, dimulai pada pagi hari pukul 8.00 dan diselesaikan pada pukul 15.00. Pengujian dilakukan beberapa kali pada saat langit cerah.



Gambar 4. Grafik hasil penelitian PV/T

Pada penelitian ini didapatkan kenaikan suhu air keluar rata-rata harian yang dihasilkan sel surya terhadap debit air keluar, semakin rendah debit maka suhu air keluar rata-rata semakin tinggi. Hal ini diakibatkan panas pada pipa tembaga yang ditransfer ke air terserap secara maksimal oleh air yang mengalir dengan debit yang lebih rendah, karena air terkumpul dalam pipa tembaga dengan aliran yang lambat akan seutuhnya mengalami proses penyerapan panas. Dari fenomena ini juga berarti pipa kalor dapat digunakan sebagai penghantar kalor dari sel surya menuju

penukar kalor yang dialiri air pendingin.

Pada penelitian ini juga didapatkan bahwa terjadi penurunan suhu permukaan sel surya dengan bertambahnya debit aliran air pendingin. Debit air keluar berbanding terbalik dengan suhu permukaan sel surya. Panas yang terkumpul pada permukaan sel surya akan dikonduksikan ke plat tembaga dan ke pipa kalor selanjutnya diteruskan ke air pendingin. Aliran air yang semakin cepat akan mengakibatkan pertukaran kalor yang lebih cepat pula sehingga suhu permukaan sel surya akan semakin rendah dibandingkan dengan debit air yang lebih rendah. Hal ini juga menjadi bukti bahwa pipa kalor dapat bekerja sebagai penghantar kalor dari sel surya menuju air pendingin yang mengalir di dalam penukar kalor.

Pada penelitian ini juga didapatkan fakta bahwa efisiensi sel surya rata-rata harian akan lebih baik jika aliran air pendingin sel surya lebih cepat. Hal ini terjadi karena semakin cepat aliran pendingin maka akan menurunkan suhu permukaan sel surya dan pada akhirnya akan menaikkan efisiensi sel surya sebagaimana hasil dari penelitian sebelumnya (Dubey S. et al, 2009), (Subarkah R, 2010).

Keuntungan lain yang didapat dari peralatan Photovoltaic/Thermal (PV/T) adalah energi termal. Dalam penelitian ini, energi termal yang didapatkan adalah air panas. Suhu air panas yang dihasilkan dapat mencapai 42°C pada debit aliran air pendingin sebesar 200 ml/menit. Dengan menambahkan keuntungan energi termal dan energi listrik yang dihasilkan oleh peralatan PV/T maka efisiensi peralatan dapat mencapai 80%. Efisiensi peralatan akan mengalami kenaikan pada debit aliran air pendingin yang semakin cepat, akan tetapi suhu air yang dihasilkan akan semakin rendah sehingga tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pipa kalor dapat digunakan sebagai penghantar panas pada sel surya, sehingga panas pada sel surya dapat diteruskan ke air pendingin yang mengalir pada bagian penukar kalor dan suhu permukaan sel surya dapat diturunkan menjadi 49°C. Dari setiap pengujian alat dapat dibuktikan bahwa sel surya yang mengalami pendinginan dapat meningkatkan efisiensi sel surya hingga mencapai 22%. Berdasarkan data dari pengujian diperoleh suhu air rata-rata keluar peralatan yang berbeda-beda, untuk debit 200ml/mnt suhu rata-ratanya mencapai 38,28 °C, debit 250 ml/mnt suhu rata-ratanya mencapai 37,09 °C, debit 300 ml/mnt suhu rata-ratanya mencapai 37 °C, untuk debit 350 ml/mnt

suhu rata-ratanya $36,12^{\circ}\text{C}$ dan untuk debit 400 ml/mnt
suhu rata-ratanya mencapai $35,21^{\circ}\text{C}$.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Jakarta yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Dana Hibah Bersaing tahun 2012.

Referensi

Dubey S., Sandhu G.S., Tiwari G.N., Analytical expression for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector, *Applied Energy* 86: 697–705 (2009)

Evans DL, Simplified method for predicting photovoltaic array output. *Sol Energy*; 27: 555–60 (1981)

Hagens, H., Ganzevles, F.L.A., Van Der Geld, C.W.M., Grooten, M.H.M, Air heat exchanger with long heat pipe: Experiment and prediction, *Applied Thermal Engineering* 27, 2426-2434 (2007)

Hwang, G.S., Kaviani, M., Andeson, W.G., Zuo, J, Modulated wick heat pipe, *Int. Journal of Heat and Mass Transfer* 50, 1420-1434 (2007)

Kang, Shung-Wen., Tsai, Tseng-Hong., Chen, Hong-Chih, Fabrication and test of radial grooved micro heat pipe, *Applied Thermal Enggineering* 22, 1550-1568 (2002)

Kerr MJ, Cuevas A, Generalized analysis of the illumination intensity vs. open – circuit voltage of PV modules. *Sol Energy* 2003; 76: 263–7 (2003)

Khandekar, Sameer., Joshi, Yogesh M., Mehta, Balkrishna, Thermal performance of two-phase thermosyphon using nano fluids, *Int. Journal of Thermal Science* 47, 659-667 (2008)

Legierski, Jaroslaw., Wieck, Boguslaw., de Mey, Gilbert, Measurements and simulations of transient characteristic of heat pipe, *Microelectronics Reliability* 46, 109-115 (2006)

Mondol JD, Yohanis YG, Smyth M, Norton B, Long – term validated simulation of a building integrated photovoltaic system. *Sol Energy*; 78: 163–76 (2005)

Nishioka K et al, Field – test analysis of PV – system – output characteristics focusing on module temperature. *Sol Energy Mater PV module*; 75: 665–671 (2003)

Tahun 2010 Tentang Rancana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Tahun 2010-2014.

Subarkah, R., Studi Eksperimental Karakteristik Sel Surya Jenis Mono-Crystalline, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Fisika 2010*, ISSN: 2087-3433, (2010)

Said, Salem A., Akash, Bilal, Experimental performance of heat pipe, *Int. Comm Heat and Mass Transfer* 26, 679-689 (1999)

Wei He , Tin-Tai Chow , Jie Ji , Jianping Lu , Gang Pei ,Lok-shun Chan, Hybrid photovoltaic and thermal solar-collector designed for natural circulation of water, *Applied Energy* 83: 199–210 (2006)