

An experimental investigation of the effect of geometry on the performance of a serpentine flat plate collector

Amrizal^{1*}, Ismail², Agung Nugroho², M. Irsyad¹ dan Amrul¹

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

²Prodi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jln. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung-35145

*Corresponding author: amrizal@eng.unila.ac.id

Abstract. Solar energy is an important source of renewable energy to satisfy all future energy needs. A flat plate thermal collector is a device that absorbs the incoming solar radiation and converts it into heat. This study aims to determine the performance of a serpentine flat plate solar collector based on changes in the collector pipe geometry. The performance of the collector associated with both heat transfer and pressure drop was tested under different type of pipe connection (short and long elbow) and different direction of fluid flow referred to the absorber plane (vertical and horizontal flow). Thermal performance was performed under indoor at steady state conditions in accordance with EN 12975 using solar simulator. The test was performed in the range of varies the fluid mass flow rate per collector area (0.005 - 0.015 kg / s m²). The results showed that a small difference is seen in the values for both thermal performance and pressure drop obtained from the short and long elbow collectors. Meanwhile a significant difference is given by the horizontal collector which has values of 38% and 15% higher than the values obtained from vertical collector for both thermal performance and pressure drop, respectively. The increase in pressure drop will be directly proportional to the required pump power.

Abstrak. Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang cukup potensial untuk dimanfaatkan. Kolektor surya pelat datar merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengubah energi surya menjadi energi panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja kolektor surya pelat datar tipe aliran serpentin baik secara termal maupun pressure drop berdasarkan perubahan geometri pipa kolektor. Unjuk kerja diuji berdasarkan perbedaan jenis sambungan pipa (*short* dan *long elbow*) dan perubahan arah aliran fluida terhadap bidang absorber (aliran membujur/vertikal dan melintang/horizontal). Pengujian unjuk kerja termal dilakukan pada kondisi steady sesuai dengan standar pengujian EN 12975 menggunakan solar simulator. Pengujian juga memvariasikan laju aliran massa fluida per luas kolektor (0.005 – 0.015 kg/s m²) untuk melihat pengaruhnya terhadap unjuk kerja kolektor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolektor dengan jenis sambungan pipa menggunakan *short* dan *long elbow* mempunyai unjuk kerja termal dan pressure drop hampir tidak berbeda antara kedua jenis kolektor tersebut. Sementara itu perbedaan signifikan terlihat untuk kolektor dengan jenis aliran fluida horizontal yang mempunyai nilai parameter rugi-rugi panas dan pressure drop lebih besar masing-masing 38 % dan 15 % jika dibandingkan dengan nilai parameter kolektor pada aliran vertikal. Peningkatan pressure drop akan berbanding lurus dengan daya pompa yang dibutuhkan.

Kata kunci: energi surya, kolektor, pelat datar, *elbow*.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan peningkatan pertumbuhan jumlah penduduk. Cadangan energi konvensional seperti minyak bumi, batubara dan gas bumi saat ini sudah menipis. Hal ini mendorong manusia untuk mencari sumber energi alternatif yang baru dan terbarukan. Salah satu sumber energi yang sangat potensial adalah energi matahari atau energi surya karena energi ini cukup tersedia dan ramah lingkungan. Energi surya dapat dikumpulkan atau diserap

dengan bantuan salah satu alat yang dikenal dengan kolektor surya pelat datar.

Berbagai penelitian pendahuluan telah dilakukan yang berkaitan dengan pengembangan dan pengujian unjuk kerja termal kolektor surya pelat datar seperti dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya [1-5].

Berkaitan dengan jenis dari rangkaian pipa kolektor, Q. Tang, dkk. [6] meneliti unjuk kerja termal sebuah solar kolektor pelat datar tipe

serpentine. Pengujian dilakukan berdasarkan laju aliran fluida, kecepatan udara, temperatur fluida masuk dan keluar. Penelitian ini menguji satu jenis kolektor dengan luas perpindahan panas 1.71 m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolektor jenis serpentine mempunyai unjuk kerja lebih baik dari kolektor konvensional.

Sementara itu penelitian lainnya tentang kolektor termal surya yang terintegrasi dengan panel surya telah dilakukan diantaranya oleh Amrizal, dkk [7] tentang pengembangan pengujian dinamik kolektor PV/T yang dapat dilakukan secara simpel dan telah divalidasi dengan hasil eksperimen.

Selanjutnya A. James, dkk. [8] menguji performance termal dan elektrikal dari Photovoltaic/Thermal (PV/T) kolektor surya pelat datar menggunakan solar simulator. Pada penelitian ini telah dibandingkan unjuk kerja antara kolektor surya tipe serpentine dengan tipe paralel. Hasil yang diperoleh menunjukkan kolektor tipe paralel memiliki efisiensi termal lebih kecil dibandingkan tipe serpentine dengan terjadi peningkatan koefisien rugi panas menyeluruh 34%.

Berkaitan dengan berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, kajian tentang penurunan temperatur permukaan Panel Surya (PV) menjadi hal yang menarik untuk dilakukan. Kolektor jenis PV ini merupakan salah satu kolektor surya pelat datar yang dapat mengkonversikan energi matahari secara langsung menjadi energi listrik. Akan tetapi setiap kenaikan temperatur permukaan kolektor sekitar 10 °C maka terjadi penurunan efisiensi listrik sebesar 0,5% [9]. Salah satu upaya untuk mempertahankan atau menaikkan efisiensi listrik adalah menyerap panas sisa yang ada pada permukaan panel surya tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan menggabungkan atau menempelkan permukaan panel dengan permukaan kolektor termal pelat datar yang dialirkan fluida sebagai media penyerap panas. Dengan demikian kondisi ini mendorong perlunya kajian dan penelitian yang berkaitan dengan kolektor termal pelat datar yang dapat diaplikasikan ke kolektor panel surya yang menjadi alasan dilakukannya penelitian ini. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja kolektor surya pelat datar tipe aliran serpentine baik secara termal maupun pressure drop berdasarkan jenis sambungan pipa (elbow) dan arah aliran fluida kerja. Sambungan pipa yang digunakan adalah jenis *short* dan *long* elbow dan arah aliran fluida adalah aliran horizontal dan vertikal.

Identifikasi Parameter

Model termal yang digunakan dalam pengujian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut [10]:

$$A[F'(\tau\alpha)G - F'U_L(T_m - T_a)] = \dot{m}_f c_f (T_i - T_o) \quad (1)$$

\dot{m} adalah laju aliran massa fluida, c_f adalah panas spesifik dari fluida, $F'(\tau\alpha)$ adalah *zero loss efficiency* yang mengindikasikan efisiensi termal, G adalah intensitas radiasi matahari, F' adalah faktor efisiensi dari kolektor, $F'U_L$ adalah koefisien rugi termal menyeluruh, T_i dan T_o adalah temperatur fluida di bagian masuk dan keluar dari segmen kolektor, T_a adalah temperatur lingkungan, T_m adalah temperatur fluida rata-rata dan A adalah luas kolektor.

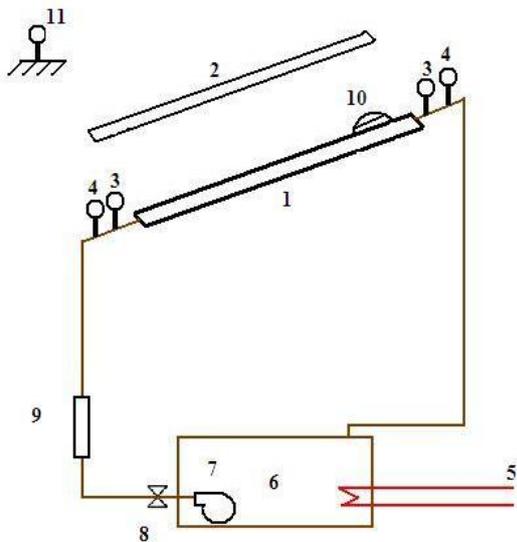
Unjuk kerja kolektor berhubungan dengan parameter efisiensi termal $F'(\tau\alpha)$ dan koefisien rugi termal menyeluruh $F'U_L$ seperti terlihat pada persamaan (1). Parameter unjuk kerja kolektor ini dapat dihitung melalui curve fitting, menggunakan least square method dan Multiple Linear Regression diaplikasikan dalam metode perhitungan ini. Parameter unjuk kerja juga dapat dideskripsikan melalui grafik antara efisiensi dengan $(T_m - T_m)/G$.

Sementara itu pressure drop aliran fluida diketahui berdasarkan perbedaan tekanan fluida bagian masuk masuk dan keluar dari kolektor.

Metode Penelitian

Pengujian dilakukan pada 4 (empat) variasi temperatur fluida inlet (T_{fi}) yang berbeda [11]. Temperatur fluida yang terendah mendekati nilai temperatur lingkungan dan yang tertinggi mendekati nilai temperatur maksimal yang mungkin dicapai oleh fluida kerja bagian outlet kolektor dan masing-masing dilakukan 4 (empat) kali pengujian.

Gambar 1 menjelaskan skema pengujian dimana kolektor sebagai benda uji dengan variasi geometri sambungan dan arah aliran fluida menerima sinar radiasi dari solar simulator. *Heater* digunakan sebagai alat untuk memanaskan fluida sekaligus untuk memvariasikan beberapa level temperatur fluida masuk. Sensor termokopel tipe K difungsikan untuk mengukur temperatur fluida kerja dan udara lingkungan. Fluida kerja disirkulasikan dengan pompa dan diatur lajunya dengan penggunaan katup yang ditempatkan pada posisi masuk kolektor.



Gambar 1. Skema Pengujian : 1. Kolektor 2. Solar Simulator 3. Inlet dan Outlet Pressure Gauge 4. Inlet dan Outlet Sensor Temperatur 5. Heater 6. Storage Tank 7. Pampa Sirkulasi 8. Katup 9. Flowmeter 10. Pyranometer 11. Ambient Sensor Temperature



(a) (b)

Gambar 3. Rangkaian pipa dan pelat kolektor surya. (a). Jarak antara pipa (W) = 40 mm, short elbow 90° , vertikal. (b). (W) = 40 mm, U-bend 180° , vertikal.

Seluruh pengujian dilakukan dengan batasan aliran fluida yang rendah yang disesuaikan dengan kebutuhan jenis kolektor PV/T dengan batasan laju aliran per luas kolektor adalah (0.005–0.015 kg/s m^2). Variabel yang diamati pada pengujian ini adalah temperatur dan tekanan fluida bagian masuk dan keluar dari kolektor. Luas pelat kolektor surya yang diuji adalah 0,45 m^2 dengan ukuran panjang 0,875 m dan lebar 0,52 m.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian mengenai unjuk kerja kolektor secara termal dan pressure drop disajikan pada beberapa tabel dan gambar berikut dan selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap hasil-hasil pengujian tersebut.



(a) (b)

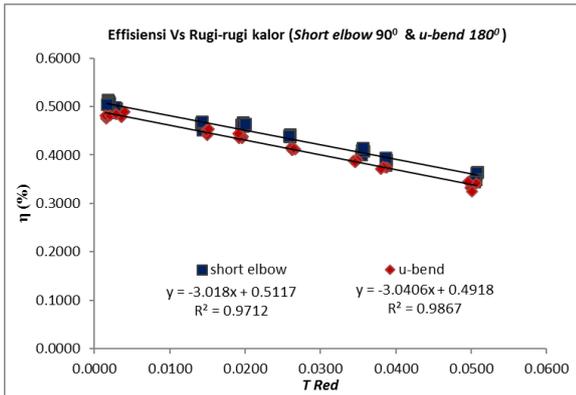
Gambar 2. (a) elbow 90° (b). elbow 180° atau U-bend



(b) (b)

Gambar 4. Rangkaian pipa dan pelat kolektor surya. (a). Jarak antara pipa (W) = 80 mm, short elbow 90° , vertikal. (b). II. W = 80 mm, short elbow 90° , horizontal.

Gambar 2 memperlihatkan perbandingan jenis sambungan dimana elbow 90° memiliki patahan yang lebih tajam dibandingkan dengan elbow 180° . Sedangkan Gambar 3 menjelaskan perbandingan rangkaian pipa yang sudah terpasang dengan pelat dan Gambar 4 tentang perbandingan rangkaian pipa vertikal dan horizontal yang juga sudah terpasang dengan pelat absorber.



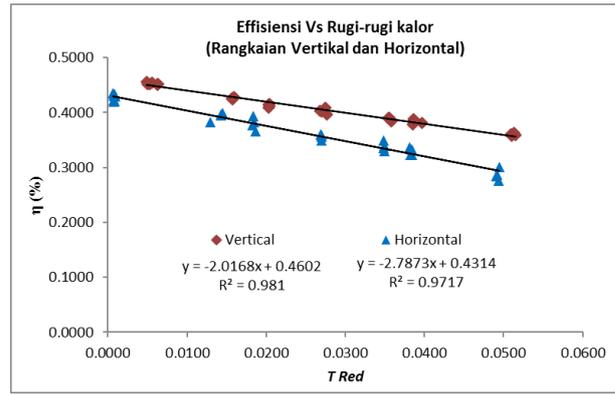
Gambar 5. Perbandingan unjuk kerja kolektor surya serpentin rangkaian vertikal jarak pipa (W) 40 mm menggunakan sambungan short elbow 90° dan sambungan U-bend 180° .

Berdasarkan Gambar 5 dan 6 terlihat perbandingan hasil unjuk kerja termal pada kolektor surya pelat datar. Pada Gambar 5 untuk penggunaan jenis sambungan dimana kolektor dengan *short elbow* memiliki unjuk kerja termal sedikit lebih baik dibandingkan dengan kolektor *long elbow* (*U bend*) akan tetapi perbedaan diantara keduanya tidak terlalu signifikan.

Namun sebaliknya terdapat perbedaan unjuk kerja yang signifikan dimana rangkaian pipa aliran vertikal lebih baik dibandingkan dengan rangkaian pipa horizontal seperti terlihat pada Gambar 6. Kondisi ini ditunjukkan dari nilai efisiensi perpindahan panas dan koefisien rugi-rugi panas. Nilai koefisien rugi-rugi panas untuk rangkaian vertikal 38% lebih rendah dibandingkan kolektor rangkaian horizontal.

Hal ini bisa jadi karena kolektor surya rangkaian vertikal mempunyai pipa yang menempel pada pelat absorber lebih panjang dibandingkan kolektor surya dengan rangkaian horizontal. Sehingga rangkaian vertikal memiliki luas perpindahan panas lebih besar dimana semakin luas bidang kontak perpindahan panas pipa dengan fluida maka semakin sedikit pula energi panas yang hilang kelingkungan.

Sementara itu pada Tabel 1 terlihat nilai pressure drop pada sambungan *short elbow* 90° dalam batasan laju aliran fluida per luas permukaan kolektor ($0.005\text{--}0.015 \text{ kg/s m}^2$) adalah 1.173 N/m^2 dan untuk sambungan *long elbow* (*U-bend* 180°) adalah 1.111 N/m^2 . Perbedaan pressure drop ini juga tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 0,9%. Dengan demikian kedua jenis sambungan yang berbeda dapat diterapkan untuk jenis kolektor ini karena unjuk kerja yang dihasilkan tidak jauh berbeda.



Gambar 6. Perbandingan unjuk kerja kolektor surya serpentin rangkaian vertikal dengan horizontal

Tabel 1. Nilai pressure drop berdasarkan laju massa fluida dan jenis elbow

| Aliran fluida | | Pressure drop | |
|---------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|
| (kg/s) | (ltr/mnt) | Short (N/m^2) | Long (N/m^2) |
| 0,002500 | 150 | 185 | 185 |
| 0,005833 | 350 | 556 | 531 |
| 0,009167 | 550 | 1.173 | 1.111 |
| 0,012500 | 750 | 1.790 | 1.729 |

Tabel 2. Nilai pressure drop berdasarkan laju dan arah aliran fluida

| Aliran fluida | | Pressure drop | |
|---------------|-----------|--------------------------------|----------------------------------|
| (kg/s) | (ltr/mnt) | Vertikal (N/m^2) | Horizontal (N/m^2) |
| 0,002500 | 150 | 123 | 123 |
| 0,005833 | 350 | 432 | 432 |
| 0,009167 | 550 | 803 | 926 |
| 0,012500 | 750 | 1.297 | 1.667 |

Seperti terlihat pada Tabel 2 nilai pressure drop pada rangkaian pipa vertikal juga lebih baik jika dibandingkan dengan rangkaian pipa horizontal. Nilai pressure drop pada aliran $0,009167 \text{ kg/s}$ rangkaian pipa vertikal adalah 15% lebih rendah dibandingkan dengan hasil dari rangkaian pipa horizontal. Hal ini bias jadi disebabkan oleh jumlah segmen atau jumlah belokan rangkaian vertikal yang lebih sedikit bila dibandingkan jumlah belokan pada rangkaian horizontal, sehingga hambatan pada aliran horizontal lebih besar.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa unjuk kerja kolektor surya pelat datar yang diterapkan pada batasan aliran fluida ($0.005\text{--}0.015 \text{ kg/s m}^2$) mengindikasikan bahwa perubahan bentuk sambungan pipa tidak berpengaruh signifikan terhadap unjuk kerja kolektor baik secara termal maupun pressure drop yang terjadi. Sementara itu perbedaan signifikan terlihat untuk kolektor dengan

jenis aliran fluida dimana kolektor aliran horizontal mempunyai nilai parameter rugi-rugi panas dan pressure drop lebih besar jika dibandingkan dengan nilai parameter kolektor pada aliran vertikal. Hal ini bisa jadi disebabkan akibat perbedaan panjang pipa dan jumlah sambungan yang digunakan.

Penghargaan

Ucapan terima kasih disampaikan kepada BLU Universitas Lampung yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini melalui Skema Penelitian Pasca Sarjana.

Referensi

- [1] E. Ekramian, S. Gh. Etemad, M Hagheshnasfard 2015, Numerical Analysis of Heat Transfer Performance of Flat-plate Solar Collectors, Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer Vol I 2014 38-42
- [2] Ting-ting Zhu, Yan Hua Diao, Yao Hua Zhao, Yue Chao Deng 2015, Experimental Study on the Thermal Performance and Pressure Drop of a Solar Air Collector Based on Flat Micro-Heat Pipe Arrays, Energy Conversion and Management 94 (2015) 447-457
- [3] Amrizal, Penerapan ISO 9806-1 Dalam Pengujian Unjuk Kerja Termal Kolektor Surya Pada Kawasan Ekuator, 2015 - ISSN: 2477-0477 SENFA, Universitas Padjajaran, Jatinangor, Jawa Barat
- [4] Amrizal, Dynamic Characterization of Flat-plate Solar Collector, 2013 - ISBN 978-979-8510-61-8 Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin, (SNTTM) XII, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Lampung
- [5] N.Amrizal, D. Chemisana, J.I. Rosell, J.Barrau. 2012. A dynamic model based on the piston flow concept for the thermal characterization of solar collectors. Applied Energy, 94, 244-250.
- [6] Tang Qianyu., Wang Hua., Wang Huitao., Qing Shan., 2011. Serpentine flat plate collector thermal performance testing. Advanced material research vols 261-263. Trans Tech Publications, Switzerland
- [7] N.Amrizal, D. Chemisana, and J. I. Rosell, 2013. Hybrid Photovoltaic-Thermal Solar Collector Dynamic Modelling, Applied Energy, 101, 797-807.
- [8] James Allan., D. Zahir. S. Siniska, dan Mauricette. L, 2015. Performance testing of thermal and photovoltaic thermal solar collectors, Energy Science & Engineering published by the Society of Chemical Industry dan John Wiley & Sons Ltd
- [9] He W, Chow TT, JiJ, LuJ, PeiLG, Chan S.Hybrid photovoltaic and thermal solar collector designed for natural circulation of water. Applied Energy 2006;83:199–210
- [10] Duffie, J.A., dan Beckman, W.A., 2013, "Solar Engineering of Thermal Processes," 4th edition., Hoboken, NJ: John Wiley & Son, New York.
- [11] EN 12975-2. Thermal solar systems and components solar collector part 2: test methods. Brussels: CEN; 2006.