

Karakteristik Termal Kolektor Pelat Datar Model Serpentine Pada Pemanas Air Tenaga Surya

Akhmad Fadli Ibrahim^{1*}, La Ode Ichlas Syahrullah Yunus², Yuvita Satriani Djuli³ dan Azhar Aras Mubarak⁴

^{1,2,3}Prodi Teknik Mesin, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Kolaka 93514, Indonesia

⁴Prodi Teknik Perkapalan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Kolaka 93514, Indonesia
akhmadfadliibrahim@gmail.com

Abstract: The flat plate collector serpentine model needs to know the characteristics of the performance as the water heater of solar energy. This research aims to investigate the distribution of temperature of the pipe, absorber plate and the efficiency of the flat plate collector of serpentine model in the water heater of solar energy. The research was experimental and was conducted to produce the flat plate collector and the fluid pipeline of serpentine model with the distance of 108 mm and the length of 8479 mm. Next, the serpentine model collector was applied to the test instrument of the water heater of the solar energy. The Data collection was done every 5 minutes starting at 08:00 until 16:00 WITA with the flow debit of 1 liter/minute. The research results indicated that the characteristics of the average temperature increase of absorber plate at the low point (T_{p1}), medium point (T_{p3}) and top point (T_{p5}) was 4.1°C. The mean temperature Characteristics fluid pipeline of the serpentine model at the low point (T_{p2}), medium point (T_{p4}) and top point (T_{p6}) was 5.2°C. The mean actual efficiency of the serpentine model collector was 45.22% and the mean temperature of the water output was 40.3°C the debit of 1 liter/minute. The solar collector of the flat plate of serpentine model could be applied for the domestic use in order to save the use of the electrical energy.

Keywords: temperature; heat transfer; renewable energy.

Abstrak: Kolektor pelat datar model serpentine perlu diketahui karakteristik unjuk kerjanya sebagai pemanas air tenaga surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur pada pipa, pelat absorber dan efisiensi kolektor pelat datar model serpentine pada pemanas air tenaga surya. Penelitian eksperimental dilakukan dengan membuat kolektor pelat datar dan pipa saluran fluida model serpentine dengan jarak pipa 108 mm dan panjang 8479 mm. Selanjutnya kolektor model serpentine tersebut diaplikasikan pada alat uji pemanas air tenaga surya. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit mulai pukul 08.00 sampai 16.00 WITA dengan debit aliran 1 liter/menit. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik kenaikan temperatur rata-rata pelat absorber pada titik bawah (T_{p1}), titik tengah (T_{p3}) dan titik atas (T_{p5}) adalah sebesar 4,1°C. Karakteristik temperatur rata-rata pipa saluran fluida model serpentine pada titik bawah (T_{p2}), titik tengah (T_{p4}) dan titik atas (T_{p6}) adalah sebesar 5,2°C. Efisiensi aktual rata-rata kolektor model serpentine 45,22% dan temperatur rata-rata air keluaran 40,3°C pada debit 1 liter/menit. Kolektor surya pelat datar model serpentine dapat diaplikasikan untuk penggunaan skala domestik untuk menghemat penggunaan energi listrik.

Kata kunci : temperatur; perpindahan panas; energi terbarukan

I. PENDAHULUAN

Matahari adalah bola besar dengan diameter $1,39 \times 10^6$ km, yang terdiri atas lapisan gas yang sangat panas: mengandung 80% H_2 , 19% He. Matahari berputar pada sumbunya ≈ 1 kali dalam sebulan. Temperatur pada kulit luar matahari 5760 K dan temperatur pada pusat matahari 20×10^6 K. Radiasi yang bersumber dari matahari memiliki nilai yang sama dengan radiasi yang berasal dari benda hitam pada temperatur 5760 K.

Radiasi yang tak mengalami perubahan arah disebut radiasi sorot, sedangkan radiasi yang telah mengalami perubahan arah karena pemantulan dan penyebaran disebut radiasi difusi. Jumlah dari radiasi sorot dan radiasi difusi disebut radiasi global. Total energi matahari terdiri dari 7% radiasi ultraviolet, 47% radiasi langsung, dan 46% radiasi inframerah. [1]

Energi yang berpindah akibat adanya perubahan suhu terjadi dengan berbagai cara dan ilmu yang mempelajari tentang bagaimana cara panas berpindah disebut perpindahan panas. Perpindahan panas

terjadi secara spontan dari tempat bertemperatur tinggi ke tempat bertemperatur rendah dan akan berhenti ketika telah mencapai suatu titik kesetimbangan termal. Secara mekanisme perpindahan panas terdapat tiga bentuk yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi [2][3]

Kolektor surya dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang dapat menyerap kemudian melepaskan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utamanya. Ketika cahaya matahari menyinari pelat absorber pada kolektor surya, sebagian cahaya matahari akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besar cahaya matahari akan diserap kemudian dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut berpindah ke fluida yang bersirkulasi didalam pipa kolektor surya untuk kemudian dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi. [4]

Pemanas air pada kolektor surya pelat datar memiliki komponen utama yakni: kaca transparan, pelat absorber yang dicat hitam, pipa sirkulasi sebagai saluran perpindahan panas fluida kerja, isolasi untuk meminimalisir panas yang hilang dari bawah dan samping, dan casing sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor [5]

Agar terjadi perpindahan panas yang baik dari pelat absorber ke pipa sirkulasi, bahan dasar material absorber harus mempunyai konduktivitas termal yang baik [6]

Terdapat beberapa parameter yang berpengaruh terhadap unjuk kerja kolektor diantaranya adalah jarak antar pipa-pipa kolektor dan ketebalan pelat penyerap yang disebut dengan efisiensi sirip kolektor. Semakin kecil jarak antar pipa-pipa kolektor dan semakin tebal pelat penyerap, maka efisiensi sirip dari kolektor akan semakin optimal [7]

Penelitian dengan menerapkan konfigurasi pipa kolektor secara terpisah antara model paralel dan serpentine jenis tembaga dengan luas kolektor surya 1,2 m². Hasil pengujian menunjukkan, temperatur air masuk pada pipa model paralel lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi pipa dengan model serpentine. Sebaliknya, suhu air keluar pipa serpentine lebih tinggi dari pagi sampai siang hari. Tapi, menjelang sore hari temperatur keluar konfigurasi pipa paralel yang lebih besar dari pada pipa serpentine. [8]

Penelitian kolektor surya dengan bervariasi lapisan pelat penyerap pada pipa sejajar, dengan cara pelat penyerap diposisikan diatas dan dibawah pipa sejajar. Hasil yang diperoleh efektivitas penyerapan panas dengan menggunakan lapisan pelat dibawah pipa sejajar mencapai 11,2 % sedangkan untuk lapisan pelat diatas dan dibawah pipa sejajar mencapai 17,8%. Dari perbedaan efisiensi ini diperoleh hasil bahwa dengan menggunakan lapisan pelat penyerap diatas dan dibawah pipa sejajar lebih efektif. [9].

Konfigurasi model pipa serpentine-paralel dan model paralel-serpentine pada pipa fluida pemanas air tenaga surya sistem thermosiphon, hasil yang diperoleh efisiensi panel kolektor dengan konfigurasi paralel-serpentine lebih besar dibandingkan konfigurasi serpentine-paralel. [10]

Pada pemanas air tenaga surya dengan konfigurasi pipa model serpentine memiliki konstruksi yang lebih mudah dibandingkan konfigurasi pipa model paralel yang memiliki banyak sambungan pengelasan pada pipa [11].

Pemodelan CFD dengan membandingkan solar kolektor tipe pelat datar dengan konfigurasi pipa berbentuk lurus dan konfigurasi pipa puntir, hasil yang diperoleh dengan konfigurasi pipa puntir solar kolektor tipe pelat datar memiliki perpindahan panas lebih baik dari konfigurasi pipa berbentuk lurus, akan tetapi dengan tingginya perpindahan panas tersebut mengakibatkan rugi tekanan yang lebih besar. [12]

Performansi telah diteliti kolektor surya pemanas air dengan menambahkan *external helical fins* pada pipa serpentine dengan sudut kemiringan kolektor yang divariasikan, hasil yang diperoleh dengan penambahan *external helical fins* pada pipa dengan sudut kemiringan kolektor 30° dapat meningkatkan efisiensi kolektor. [10].

Penelitian eksperimental performa pemanas air surya tipe serpentine, hasil yang diperoleh pemanas air surya tipe serpentine tersebut menghasilkan efisiensi sebesar 46% dengan temperatur air keluaran 64°C dengan laju aliran massa 0,003 kg/s. [2]

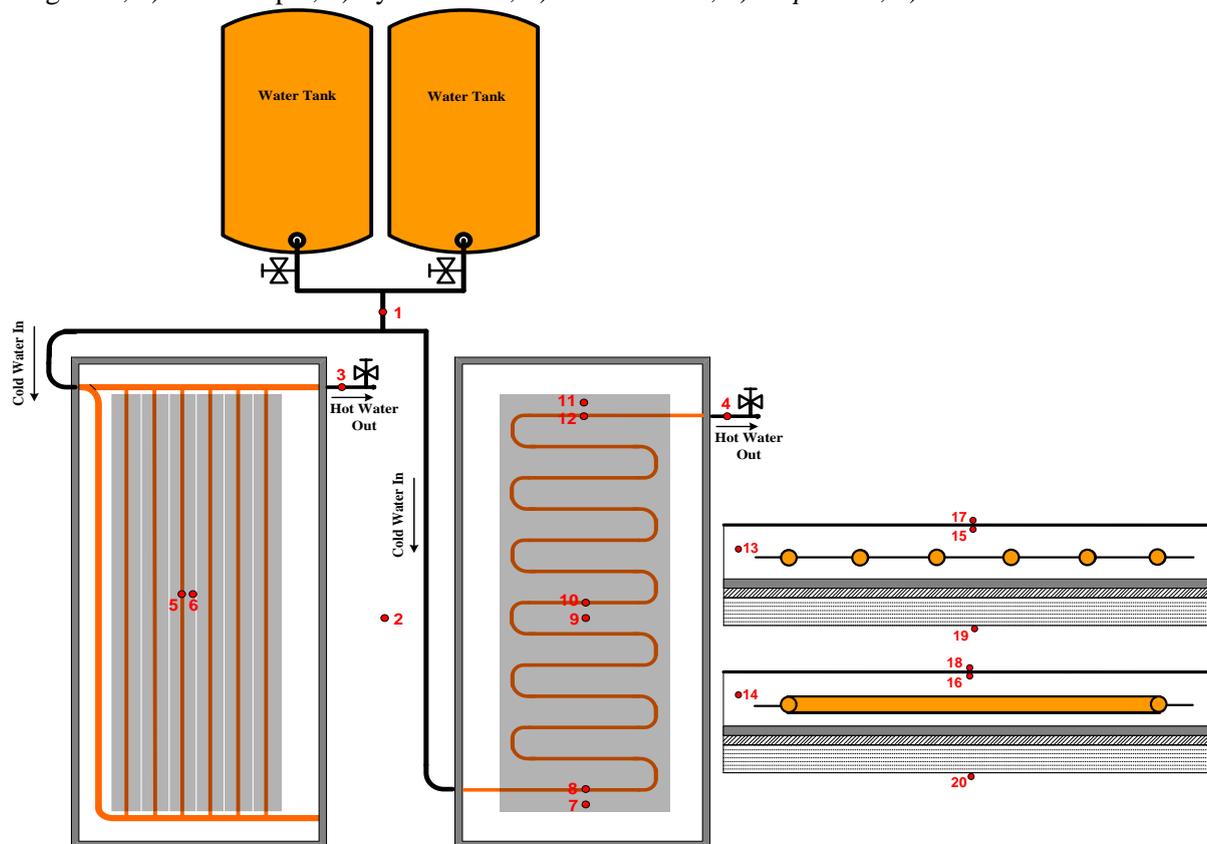
Penelitian ini menggunakan kolektor pelat datar model serpentine yang didesain untuk mengetahui karakteristik termal dari kolektor pemanas air tenaga surya.

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pembuatan kolektor surya yakni: 1) Pelat absorber dibuat dari bahan aluminium yang ditempa dengan ketebalan 1,2 mm, 2) Pipa saluran dibuat dari bahan tembaga yang dibengkokkan menggunakan alat pembengkok pipa dengan ukuran panjang keseluruhan 8479 mm, tebal pipa 0,8 mm dan diameter 0,5 inch, 3) Isolator terbuat dari bahan *polyurethane* yang tahan panas.

Peralatan pengujian yang digunakan pada gambar 1 terdiri dari: 1) Kolektor surya pemanas air, 2) Tangki air, 3) Termokopel, 4) Pyranometer, 5) Anemometer, 6) *Stopwatch*, 7) Gelas ukur.



Gambar 1. Skema penelitian dan titik pengukuran

Keterangan gambar 1:

- | | |
|--|---|
| 1 : Temperatur air masuk (T_{in}) | 11 : Temperatur pelat atas serpentine (T_{p5}) |
| 2 : Temperatur lingkungan (T_a) | 12 : Temperatur pipa atas serpentine (T_{p6}) |
| 3 : Temperatur air keluar model paralel ($T_{out'}$) | 13 : Temperatur udara dalam paralel ($T_{ud'}$) |
| 4 : Temperatur air keluar model serpentine (T_{out}) | 14 : Temperatur udara dalam serpentine (T_{ud}) |
| 5 : Temperatur pipa paralel ($T_{p1'}$) | 15 : Temperatur kaca sisi dalam paralel ($T_{cd'}$) |
| 6 : Temperatur pelat paralel ($T_{p2'}$) | 16 : Temperatur kaca sisi dalam serpentine (T_{cd}) |
| 7 : Temperatur pelat bawah serpentine (T_{p1}) | 17 : Temperatur kaca sisi luar paralel ($T_{cl'}$) |
| 8 : Temperatur pipa bawah serpentine (T_{p2}) | 18 : Temperatur kaca sisi luar serpentine (T_{cl}) |
| 9 : Temperatur pelat tengah serpentine (T_{p3}) | 19 : Temperatur sisi bawah kolektor paralel ($T_{kb'}$) |
| 10 : Temperatur pipa tengah serpentine (T_{p4}) | 20 : Temperatur sisi bawah kolektor serpentine (T_{kb}) |

B. Metode Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan melakukan pengujian pada kolektor surya pelat datar model serpentine dan paralel dengan debit 1 liter/menit. Pengukuran dan pengambilan data dilakukan setiap 5 menit mulai pukul 08.00 sampai 16.00 WITA.

Pengukuran dan pengambilan data meliputi: intensitas radiasi matahari, debit air, temperatur lingkungan, temperatur air masuk, temperatur air keluar, temperatur pelat absorber, temperatur pipa fluida, temperatur udara dalam, temperatur kaca penutup, temperatur bawah dan kecepatan angin.

Energi bermanfaat (Q_u), pada kolektor surya tergantung pada penyerapan radiasi matahari, debit air dan perpindahan panas dari pelat absorber ke fluida yang ditunjukkan dengan persamaan [4]:

$$Q_u = \dot{m} \times c_p \times (T_{out} - T_{in}) \tag{1}$$

Sehingga diperoleh efisiensi kolektor (η):

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c} \tag{2}$$

Dimana \dot{m} adalah laju aliran massa (kg/s), c_p adalah panas spesifik (kJ/kg.K), T_{in} adalah temperatur air masuk (°C), T_{out} adalah temperatur air keluar (°C), I_T adalah intensitas radiasi matahari (W/m²) dan A_c adalah luas kolektor (m²).

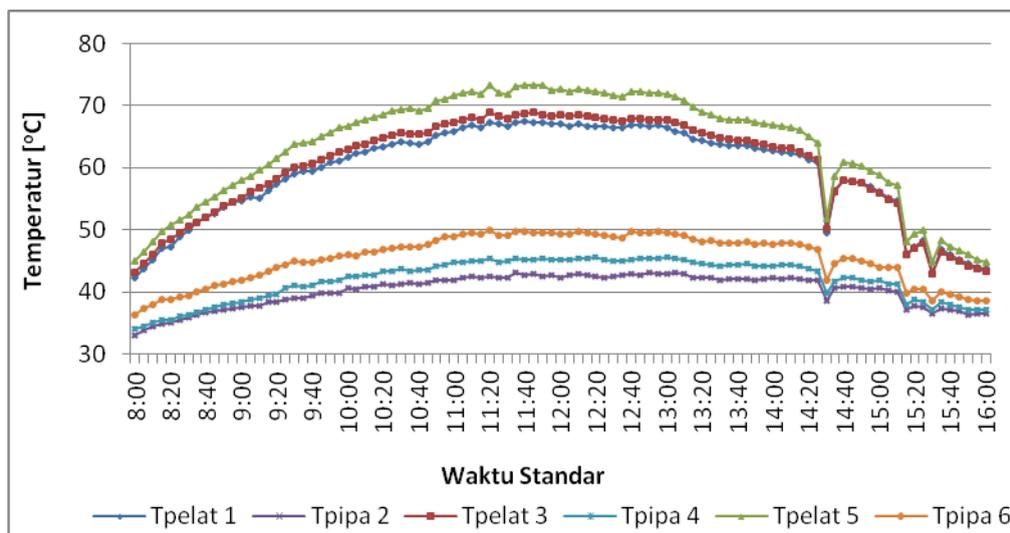
C. Lokasi Penelitian

Lokasi pengujian berada diatas lantai beton tingkat lima yang terletak pada posisi 5° 13' 53.1696" LS dan 119° 30' 7.4952" BT, dengan sebelah selatan terdapat gedung, dan sebelah utara, timur serta barat merupakan daerah terbuka.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, diperoleh karakteristik yang meliputi distribusi temperatur pelat absorber, pipa fluida, energi bermanfaat dan efisiensi pada kolektor pelat datar pemanas air tenaga surya.

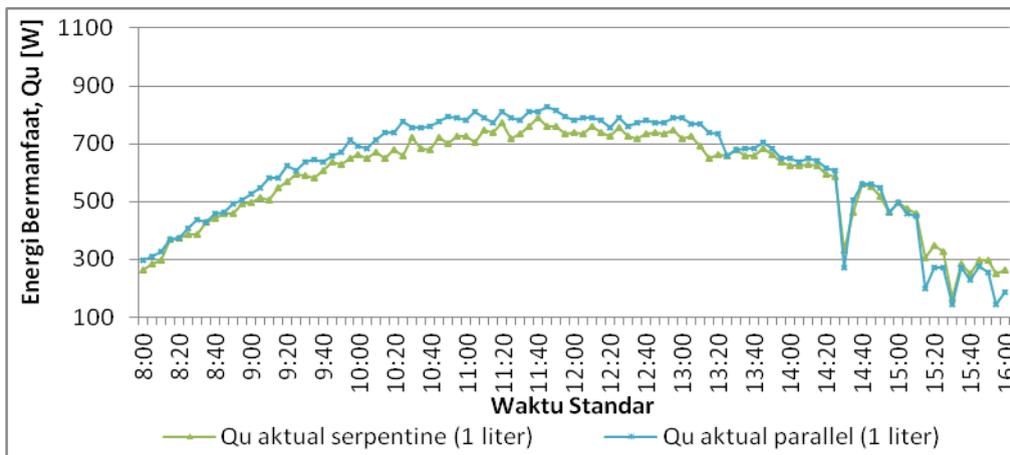
Setelah mendapatkan data temperatur pelat absorber dan pipa fluida, temperatur air keluar dan beberapa parameter lainnya, maka selanjutnya menghitung energi bermanfaat dan efisiensi pada kolektor.



Gambar 2. Temperatur pelat absorber dan pipa fluida terhadap waktu standar

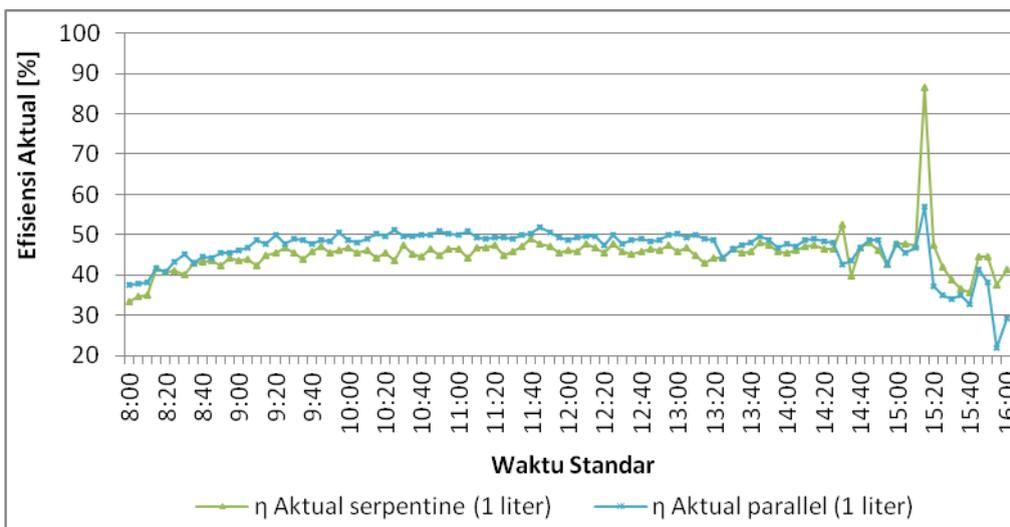
Pada gambar 2 memperlihatkan hubungan temperatur pelat absorber dan pipa fluida terhadap waktu standar. Berdasarkan gambar tersebut diperoleh karakteristik temperatur rata-rata pelat absorber untuk debit 1 liter/menit pada titik bawah (T_{p1}), titik tengah (T_{p3}) dan titik atas (T_{p5}) adalah sebesar

59,3°C : 60,1°C : 63,4°C. Hal tersebut menunjukkan peningkatan temperatur pada tiap titik pengukuran pelat absorber seiring dengan meningkatnya intensitas radiasi matahari. Kemudian untuk karakteristik temperatur rata-rata pipa fluida pada titik bawah (Tp₂), titik tengah (Tp₄) dan titik atas (Tp₆) adalah sebesar 40,3°C : 42,0°C : 45,5°C. Hal tersebut menunjukkan peningkatan pada tiap titik pengukuran pelat absorber seiring dengan meningkatnya temperatur air didalam pipa yang terpanaskan dan pengaruh intensitas radiasi matahari. Karakteristik selisih temperatur rata-rata pelat-pipa pada titik bawah (Tp₁₋₂), titik tengah (Tp₃₋₄) dan titik atas (Tp₅₋₆) adalah sebesar 19,1°C : 18,1°C : 17,9°C. Berdasarkan nilai karakteristik tersebut menunjukkan penurunan selisih temperatur rata-rata pipa-pelat pada titik bawah (Tp₁₋₂) ke titik atas (Tp₅₋₆) pengukuran, dikarenakan air yang berada didalam pipa semakin panas sehingga perpindahan panas dari pelat ke pipa pada titik atas (Tp₅₋₆) tidak terlalu tinggi dibandingkan pada titik bawah (Tp₁₋₂).



Gambar 3. Energi bermanfaat aktual kolektor terhadap waktu standar

Pada gambar 3 menunjukkan energi bermanfaat (Qu) aktual kolektor model pipa serpentine dan paralel untuk debit 1 liter/menit terhadap waktu standar. Berdasarkan gambar tersebut diperoleh energi bermanfaat aktual rata-rata kolektor model serpentine sebesar 581,80 Watt dan energi bermanfaat aktual rata-rata kolektor model paralel sebesar 609,28 Watt. Energi bermanfaat pada kolektor semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur air keluaran rata-rata yang dihasilkan dari pemanasan pada kolektor adalah sebesar 40,7°C.



Gambar 4. Efisiensi aktual kolektor terhadap waktu standar

Pada gambar 4 menunjukkan hubungan efisiensi (η) aktual kolektor model pipa serpentine dan paralel untuk debit 1 liter/menit terhadap waktu standar. Berdasarkan gambar tersebut diperoleh efisiensi aktual rata-rata kolektor model serpentine sebesar 45,22% dan efisiensi aktual rata-rata kolektor model paralel sebesar 46,52%. Peningkatan efisiensi kolektor dipengaruhi oleh energi bermanfaat dan intensitas radiasi matahari yang tersedia.

Penelitian ini menunjukkan bahwa pada pelat absorber dan pipa fluida distribusi temperatur pada saat awal air masuk ke kolektor perpindahan panas belum optimal dikarenakan fluida air yang berada didalam pipa masih dingin dan perlahan mulai panas, kemudian setelah air menjelang keluar kolektor kenaikan temperaturnya lebih tinggi dibanding fluida pada saat masuk kolektor. Kajian ini selaras dengan penelitian [13], "*Construction, Fabrication and Performance Analysis of an Indigenously Built Serpentine Type Thermosyphon Solar Water Heater*", bahwa temperatur air akan meningkat seiring air yang memasuki kolektor dan lamanya waktu pemanasan. Karakteristik selisih temperatur pelat-pipa semakin menurun dikarenakan fluida yang berada didalam pipa semakin panas. Sehingga selisih perbedaan temperatur antara pelat absorber dan pipa fluida pada titik bawah, tengah dan atas semakin menurun.

IV. KESIMPULAN

Temperatur rata-rata pelat absorber dan pipa fluida kolektor surya pelat datar model serpentine pada titik bawah, titik tengah dan titik atas menunjukkan kenaikan temperatur pada saat memasuki kolektor dan meningkat lebih tinggi menjelang keluar kolektor dikarenakan air yang berada didalam pipa semakin panas. Tingkat efisiensi kolektor surya pemanas air dipengaruhi intensitas radiasi matahari dan kerugian yang terjadi pada kolektor. Untuk menunjang efisiensi kolektor harap memperhatikan kontak termal antara pipa fluida dan pelat absorber dan posisi penempatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. O. Arowolo, A. A. Adekunle, and M. O. Opeyemi, "Design and implementation of a PLC trainer workstation," *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst.*, vol. 5, no. 4, pp. 755–761, 2020, doi: 10.25046/AJ050489.
- [2] Y. Deng, Y. Zhao, Z. Quan, and T. Zhu, "Experimental Study of the Thermal Performance for the Novel Flat Plate Solar Water Heater with Micro Heat Pipe Array Absorber," *Energy Procedia*, vol. 70, pp. 41–48, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.02.095.
- [3] A. A. H. Putra, A. T. Wijayanta, and I. Yaningsih, "Experimental Studies of Twist Ratio Effect to The Heat Transfer Enhancement Using Square Cut Tape and Classical Tape Insert," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, 2017, doi: 10.20961/mekanika.v16i2.35055.
- [4] W. A. B. ohn A. Duffie, "Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques," *Sol. Energy Fundam. Model. Tech.*, 2008, doi: 10.1007/978-1-84800-134-3.
- [5] M. Abutayeh, D. Y. Goswami, and S. Al-Kharabsheh, "Solar Distillation and Drying" in *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2015.
- [6] Iman K. Reksowardojo, Y. Hartanto, T. P. Brodjonegoro, and W. Arismunandar, "Comparison of Diesel Engine Characteristic Using Pure Coconut Oil, Pure Palm Oil, and Pure Jatropha Oil as Fuel," *J. Tek. Mesin*, 2009.
- [7] A. Riyadi, "THE EFFECT OF WASTEWATER OF BATIK INDUSTRY TO THE QUALITY OF DENGKENG RIVER," *J. Teknol. dan Pengelolaan Lingkungan*, 2019.
- [8] A. O'Shea *et al.*, "From formative assessment to assessment FOR learning:," *Assess. Educ. Princ. Policy Pract.*, 2018.
- [9] A. B. Susiloputra and B. A. Dwiyanoro, "Analisa Heat Balance Thermal Oxidizer dengan Waste Heat Recovery Unit," *J. Tek. ITS*, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.22384.
- [10] D. Nugraha and B. A. Dwiyanoro, "Performansi Kolektor Surya Pemanas Air dengan Penambahan External Helical Fins pada Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Kolektor," *J. Tek.*

ITS, vol. 4, no. 1, pp. B74–B79, 2015.

- [11] S. I. Sadaq and S. N. Mehdi, “Experimental analysis of solar distillation unit with various slope angles,” *Int. J. Adv. Technol. Eng. Explor.*, 2018, doi: 10.19101/ijatee.2018.543014.
- [12] Thoharudin, A. S. Nugroho, and E. Suryono, “Computational Fluid Dynamics Simulation: Hydrogen Production from Biogas Autothermal in Monolithic Catalyst Reactor,” 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.01.064.
- [13] M. Mahadi, N. A. Mohd Amin, M. Ab Rahim, and M. S. Abdul Majid, “PLC Trainer Kit Simulator: An Improvement for Automation Study in Polimas,” *Appl. Mech. Mater.*, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.786.367.