



# NOZEL

## Jurnal Pendidikan Teknik Mesin

Jurnal Homepage: <https://jurnal.uns.ac.id/nozel>



### UJI EKSPERIMENTAL EFISIENSI TERMAL *SERPENTINE SOLAR*

#### *WATER HEATER* DENGAN LAJU ALIRAN AIR 1 LPM

Yustisia Ahnaf<sup>1\*</sup>, Nugroho Agung Pambudi<sup>1</sup>, Husin Bugis<sup>1</sup>

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,  
Universitas Sebelas Maret Surakarta

Email: [yustiahnaf01@gmail.com](mailto:yustiahnaf01@gmail.com)

#### ABSTRACT

*Solar water heater is a device that uses solar collectors to absorb solar radiation and convert it into heat energy to heat water. The type of solar collector and the water flow rate used affect the thermal efficiency of the solar water heater. This research uses a solar water heater with a serpentine configuration of copper pipe material and applies a water flow rate of 1 lpm. The purpose of this research is to determine the effect of water flow rate on the thermal efficiency produced by solar water heater with serpentine configuration. The type of research is quantitative research, with experimental methods. This research was conducted at Campus V, Sebelas Maret University Surakarta for 3 days starting at 09.00 to 15.00 WIB. The test results of the serpentine solar water heater with a water flow rate of 1 lpm produced the highest temperature reaching 43.42 and had a thermal efficiency of 46.14%.*

**Keywords:** *Solar Energi, Solar Water Heater, Water Flow Rate, Serpentine Configuration*

#### A. PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan dan perkembangan penduduk modern mengakibatkan kebutuhan energi global meningkat setiap tahunnya (Khammayom et al., 2023). Untuk memenuhi kebutuhan energi global dapat dilakukan upaya dengan mengganti energi fosil dengan energi terbarukan dan berkelanjutan

(Faisal Afif & Awaludin Martin, 2022).

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang menarik banyak perhatian karena dapat dimanfaatkan di seluruh negara dan tersedia setiap hari (Shahsavari, 2021). Pemanfaatan energi matahari dapat melalui *solar photovoltaic* (PV) sebagai

pembangkit listrik dan *solar thermal* sebagai pemanas (Kabir et al., 2018).

Pemanas air tenaga surya telah menarik perhatian karena manfaatnya yang besar dalam hal pelestarian sumber daya, pengurangan investasi peralatan, biaya, dan jangka waktu pengoperasian (Xu et al., 2020). Pemanas air tenaga surya atau *solar water heater* adalah alat yang menyediakan energi termal dari radiasi matahari yang digunakan dalam berbagai aplikasi dengan memanaskan air (Sadhishkumar & Balusamy, 2014). Efisiensi termal *solar water heater* bergantung pada jenis kolektor, intensitas radiasi matahari, dan temperatur air yang dibutuhkan (Franco, 2020).

Kolektor surya dengan beberapa modifikasi dapat mempengaruhi pantulan radiasi matahari yang datang dan meningkatkan jumlah panas yang diterima sehingga efisiensi termal dapat ditingkatkan (Nazari et al., 2022). Kolektor surya dengan konfigurasi *serpentine* sangat signifikan karena potensi aplikasinya yang luas (Mahadi et al., 2014). Penelitian sebelumnya, *solar water heater* dengan variasi jarak antar pipa kolektor 5 cm, 7 cm dan 9 cm menunjukkan hasil efisiensi tertinggi pada jarak antar pipa 5 cm sebesar 33.33%. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi kolektor

surya akan optimal apabila jarak antar pipa kolektor yang digunakan rapat (Susanto & Irawan, 2017).

Efisiensi *solar water heater* juga dipengaruhi oleh laju aliran air. Penelitian sebelumnya, *solar water heater* dengan variasi laju aliran air 2 lpm, 3 lpm dan 4 lpm menunjukkan hasil efisiensi tertinggi pada laju aliran air 4 lpm sebesar 50% (Pambudi et al., 2023). Penelitian lain yang dilakukan oleh Tiara Dwi Putri (2019) menunjukkan efisiensi termal *serpentine tube solar water heater* sebesar 78.24% pada laju aliran air 1 lpm, sedangkan pada laju aliran air 0.8 lpm sebesar 71.7% dan laju aliran air 0.5 lpm sebesar 55.71%. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran air yang digunakan, maka efisiensi termal pada *solar water heater* semakin tinggi.

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan penelitian *solar water heater* konfigurasi *serpentine* menggunakan material pipa tembaga diameter 12.7 mm dan jarak antar pipa tembaga 50 mm dengan laju aliran air 1 lpm. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi pada *serpentine solar water heater*.

## B. METODE

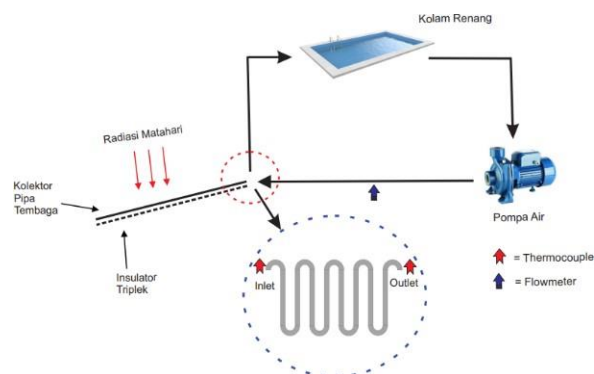
Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan metode

eksperimen. Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah *solar water heater* dengan konfigurasi *serpentine* dan diberi laju aliran air 1 lpm. Penelitian *serpentine solar water heater* dilakukan di Kampus V UNS dengan alamat Jl. A. Yani No. 200, Makamhaji, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah. Langkah pengujian *serpentine solar water heater* adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan *serpentine solar water heater*, alat ukur, dan air yang akan digunakan
2. Menempatkan *serpentine solar water heater* di bawah sinar matahari, kemudian menunggu sekitar 15 menit agar kolektor memanaskan dan siap untuk pengujian
3. Mengalirkan air dari bak penampungan menggunakan pompa air
4. Mengatur *flow meter* pada laju aliran air 1 lpm
5. Mengambil data dari pukul 09.00 – 15.00 WIB setiap 10 menit, dengan mencatat:
  - a. Intensitas radiasi surya (GT)
  - b. Kecepatan angin (Va)
  - c. Temperatur kolektor (Tk)
  - d. Temperatur air pada saluran *inlet* (Tin)
  - e. Temperatur air pada saluran *outlet* (Tout)

f. Temperatur lingkungan (Ta)

6. Pengujian diulang sebanyak 3 kali.



**Gambar 1.** Skema Kerja *Serpentine Solar Water Heater*

Proses penyerapan radiasi matahari pada *solar water heater* akan digunakan untuk memanaskan air yang disebut dengan energi berguna, besarnya energi berguna dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Q_u = A_c F_r [S - U_L (T_i - T_a)]$$

$$\text{dimana, } F_r = \frac{\dot{m} c_p}{A_c U_L} [1 - \exp\left(\frac{A_c U_L}{\dot{m} c_p}\right)]$$

$Q_u$  : energi berguna (W)

$A_c$  : luas permukaan kolektor ( $\text{m}^2$ )

$F_r$  : *collector heat removal factor*

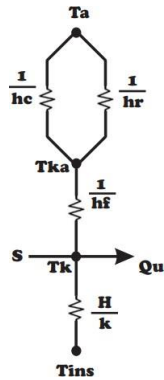
$S$  : energi yang diserap kolektor ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$U_L$  : koefisien perpindahan panas total ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ )

$T_k$  : temperatur kolektor (K)

$T_a$  : temperatur lingkungan (K)

Konsep tahanan *thermal* digunakan untuk memecahkan masalah kehilangan panas.



**Gambar 2.** Tahanan *Thermal Serpentine Solar Water Heater*

Koefisien kehilangan panas bagian atas ( $U_a$ ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$U_a = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

Koefisien kehilangan panas bagian bawah ( $U_b$ ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$U_b = \frac{1}{R_3}$$

Sehingga, koefisien kehilangan panas total ( $U_L$ ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$U_L = U_a + U_b$$

1. Perpindahan panas dari kolektor – lingkungan ( $R_1$ )

Panas yang hilang dari kolektor ke lingkungan terjadi dalam bentuk konveksi bebas dan radiasi. Besar panas hilang dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$R_1 = \frac{1}{h_{c,k-a} + h_{r,k-a}}$$

- a. Konveksi

Koefisien perpindahan panas secara konveksi pada kolektor bagian atas disebabkan oleh angin yang berhembus di atas kolektor. Koefisien perpindahan panas dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h_{c,k-a} = N_u \frac{k_a}{D}$$

$N_u$  : bilangan *nusselt*

$k_a$  : konduktivitas *thermal* udara (W/mK)

$D$  : diameter luar pipa (m)

Bilangan *nusselt* untuk konveksi bebas ditentukan dengan persamaan berikut:

$$N_u = 0.54 R_a^{1/4}$$

$$\text{dimana, } R_a = \frac{g \Delta T_m (T_k - T_a) D^3}{\nu^2} Pr$$

$g$  : gravitasi bumi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$\nu$  : viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

- b. Radiasi

Koefisien perpindahan panas secara radiasi dari kolektor ke lingkungan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h_{r,k-a} = \epsilon_k \sigma (T_k^2 + T_{sky}^2) (T_k + T_{sky})$$

$$\text{dimana, } T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5}$$

$T_k$  : temperatur kolektor (K)

$T_{sky}$  : temperatur sky (K)

$T_a$  : temperatur lingkungan (K)

- $\varepsilon_k$  : emisivitas kolektor  
 $\sigma$  : konstanta Stefan-Boltzman  
 (5,67 x 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K)

2. Perpindahan panas pada air (R<sub>2</sub>)

Panas yang hilang pada air terjadi dalam bentuk konveksi. Besar panas hilang dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$R_2 = \frac{1}{h_f}$$

Air yang mengalir melalui pipa kolektor mendapat tekanan dari pompa sehingga diantara air dengan dinding pipa terjadi perpindahan panas secara konveksi paksa. Koefisien perpindahan panas dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h_f = N_u \frac{k_f}{d}$$

$N_u$ : bilangan *nusselt*

$k_f$  : konduktivitas *thermal* air (W/mK)

$d$  : diameter dalam pipa (m)

Bilangan *nusselt* untuk konveksi bebas ditentukan dengan persamaan berikut:

$$N_u = 0.0243 R_a^{4/5} P_r^{0.4}$$

$$\text{dimana, } R_a = \frac{4Q}{\pi d v}$$

$Q$  : volume laju aliran air (m<sup>3</sup>/s)

$d$  : diameter dalam pipa (m)

$v$  : viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

3. Perpindahan panas dari kolektor – insulator (R<sub>3</sub>)

Kehilangan panas terjadi Koefisien perpindahan panas secara radiasi dari kolektor ke lingkungan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$R_3 = \frac{H}{k_{ins}}$$

$k_{ins}$ : konduktivitas *thermal* insulator (W/mK)

$H$  : ketebalan insulator (m)

Analisis efisiensi energi pada *solar water heater* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

1. Efisiensi kolektor

$$\eta_k = \frac{Q_u}{G_T A_c} \times 100\%$$

$Q_u$  : energi berguna (W)

$G_T$  : intensitas radiasi matahari total (W/m<sup>2</sup>)

$A_c$  : luas permukaan kolektor (m<sup>2</sup>)

2. Efisiensi panas yang diserap air

$$\eta_k = \frac{Q_f}{Q_u} \times 100\%$$

$$\text{dimana, } Q_f = \dot{m} C_p \Delta T$$

$Q_f$  : energi yang digunakan untuk memanaskan fluida (Watt)

$\dot{m}$  : massa laju fluida (kg/s)

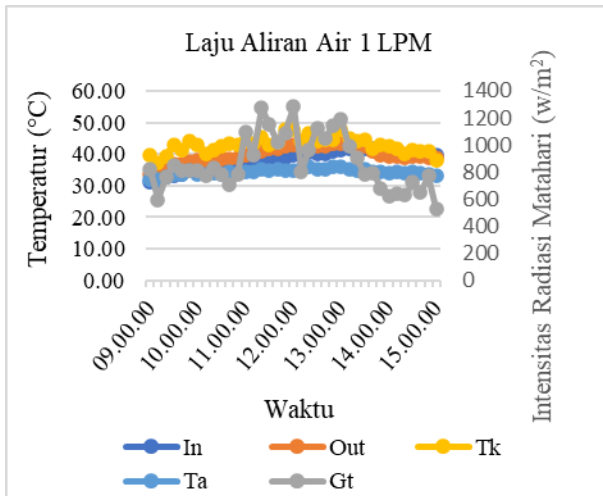
$C_p$  : kalor spesifik fluida (J/kg.K)

$\Delta T$  : selisih temperatur (T<sub>o</sub> - T<sub>i</sub>)

3. Efisiensi termal

$$\eta_t = \eta_k \times \eta_f \times 100\%$$

### C. HASIL DAN PEMBAHASAN

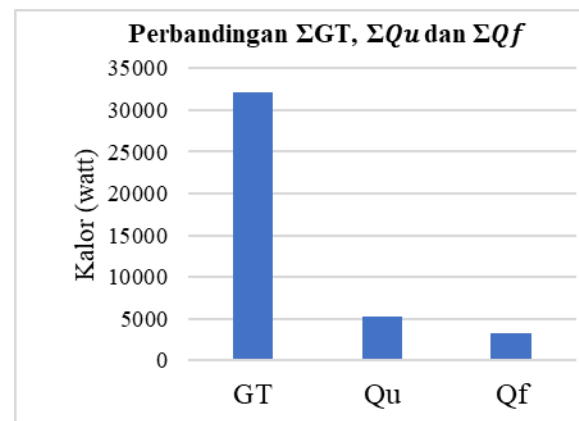


**Gambar 3.** Grafik Hasil Pengujian *Serpentine Solar Water Heater* Laju Aliran Air 1 LPM

Hasil pengujian *serpentine solar water heater* menunjukkan bahwa laju aliran air 1 lpm menghasilkan temperatur air tertinggi mencapai 43.42°C pada pukul 13.00 WIB dengan intensitas radiasi matahari sebesar 1282,3 watt/m<sup>2</sup>. Perubahan temperatur air yang paling tinggi terjadi pada pukul 11.50 WIB yaitu mencapai 3.67°C pada intensitas radiasi matahari 1088,3 watt/m<sup>2</sup>, dan perubahan temperatur terkecil yaitu 0.41°C terjadi pada pukul 13.20 WIB pada intensitas radiasi matahari 907 watt/m<sup>2</sup>. Sedangkan perubahan *temperature* rata-rata dari *inlet* ke *outlet* yaitu mencapai 1.65°C.

Hasil dari pengujian *serpentine solar water heater* dengan laju aliran air 1 lpm terlihat adanya perubahan temperature

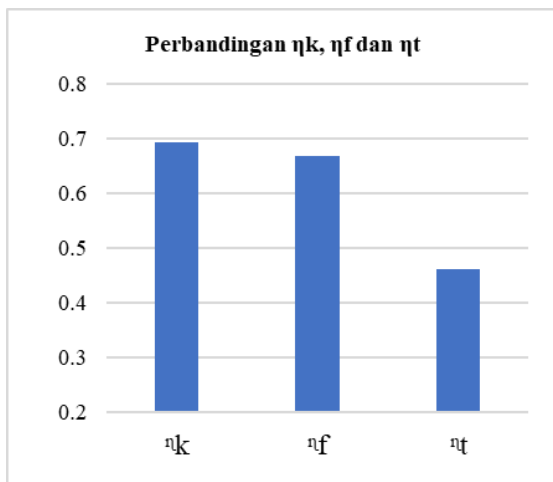
pada beberapa aspek yaitu: lingkungan, kolektor, *inlet* dan *outlet*. Hal ini disebabkan oleh jumlah intensitas radiasi matahari di setiap menitnya. Perubahan jumlah radiasi matahari dikarenakan paparan dari radiasi intensitas cahaya terhalang oleh cuaca berawan, sehingga menyebabkan intensitas radiasi matahari menurun drastis. Selain itu, angin dapat menjadi hambatan dan mempengaruhi temperatur kolektor pada *solar water heater*. Hal ini juga akan mempengaruhi penurunan temperatur air yang dihasilkan.



**Gambar 4.** Grafik Perbandingan  $\Sigma GT$ ,  $\Sigma Q_u$  dan  $\Sigma Q_f$

Saat pengujian *serpentine solar water heater* didapatkan jumlah intensitas radiasi matahari ( $\Sigma GT$ ) mencapai 32154 Watt. Dari data yang sudah diperoleh dan diolah menunjukkan laju aliran air 1 lpm menghasilkan energi berguna ( $\Sigma Q_u$ ) sebesar 5311 Watt dan energi panas yang diserap air ( $\Sigma Q_f$ ) sebesar 3263 Watt. Energi panas yang diserap air lebih sedikit

daripada energi berguna karena selama *serpentine solar water heater* bekerja mengalami kehilangan panas.



**Gambar 5.** Grafik Perbandingan  $\eta_k$ ,  $\eta_f$  dan  $\eta_t$

Pada grafik diatas, menunjukkan efisiensi kolektor ( $\eta_k$ ) merupakan kemampuan kolektor dalam menyerap radiasi matahari. Nilai  $\eta_k$  dari kolektor *serpentine solar water heater* sebesar 69.15%. Efisiensi panas yang diserap air ( $\eta_f$ ) merupakan jumlah panas yang akan terserap oleh air. Nilai  $\eta_f$  pada *serpentine solar water heater* sebesar 66.72%. Efisiensi total ( $\eta_t$ ) merupakan total panas yang digunakan oleh *serpentine solar water heater* untuk memanaskan air pada laju aliran air 1 lpm, memiliki nilai sebesar 46.14%.

## D. PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada *serpentine solar water heater* berbahan pipa tembaga dengan laju aliran air 1 lpm menghasilkan temperature paling tinggi mencapai 43.42°C dan efisiensi total mencapai 46.14%.

### Saran

1. Perlu penambahan skala ukuran dimensi *solar water heater* untuk mengetahui penggunaan *serpentine solar water heater* sebagai pemanas air kolam renang.
2. Perlu komponen tambahan seperti kaca penutup dan absorber untuk meningkatkan jumlah energi panas yang dapat diserap dan dimanfaatkan *solar water heater*.
3. Perlu penelitian lebih lanjut tentang *serpentine solar water heater* untuk mengetahui kehilangan panas dan kehilangan tekanan pada belokan pipa dapat mempengaruhi efisiensi termal pada *solar water heater* tersebut.

### DAFTAR PUSTAKA

Faisal Afif, & Awaludin Martin. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 6(1), 43–52.

- Franco, A. (2020). Methods for the sustainable design of solar energy systems for industrial process heat. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), 5127. <https://doi.org/10.3390/su12125127>
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(9), 894–900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>
- Khammayom, N., Maruyama, N., Chaichana, C., & Hirota, M. (2023). Experimental analysis of local air temperature and thermal performance of a serpentine copper pipe. *Energy Reports*, 9(10), 653–661. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.044>
- Mahadi, M. S. U. R., Hasan, M. F., Ahammed, A., Kibria, M. T., & Huque, S. (2014). Construction, fabrication and performance analysis of an indigenously built serpentine type thermosyphon solar water heater. *Proceedings of 2014 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology, ICDRET 2014*, 5, 1–6. <https://doi.org/10.1109/icdret.2014.6861712>
- Nazari, M., Jafarmadar, S., & Khalilarya, S. (2022). Exergy and thermoeconomic analyses of serpentine tube flat-plate solar water heaters coated with CuO nanostructures. *Case Studies in Thermal Engineering*, 35(5), 102072. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102072>
- Pambudi, N. A., Nanda, I. R., & Saputro, A. D. (2023). Results in Engineering The energy efficiency of a modified v-corrugated zinc collector on the performance of solar water heater (SWH ). *Results in Engineering*, 18(March), 101174. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101174>
- Sadhishkumar, S., & Balusamy, T. (2014). Performance improvement in solar water heating systems - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37(4), 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.072>
- Shahsavari, A. (2021). Experimental evaluation of energy and exergy performance of a nanofluid-based photovoltaic/thermal system equipped with a sheet-and-sinusoidal serpentine tube collector. *Journal of Cleaner Production*, 287(11), 125064. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125064>
- Susanto, H., & Irawan, D. (2017). Pengaruh Jarak Antar Pipa Pada Kolektor Terhadap Panas Yang Dihasilkan Solar Water Heater (SwH). *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1), 84–91. <https://doi.org/10.24127/trb.v6i1.470>
- Xu, W., Song, W., & Ma, C. (2020). Performance of a water-circulating solar heat collection and release system for greenhouse heating using an indoor collector constructed of hollow polycarbonate sheets. *Journal of Cleaner Production*, 253(12), 119918. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119918>