

# Analisa Penambahan Lapisan Aspal pada Permukaan Pelat Penyerap untuk Meningkatkan Kinerja *Solar Water Heater*

Anggie Kurniawan<sup>1</sup>, Nova Risdiyanto Ismail<sup>2\*</sup>, Akhmad Farid<sup>3</sup>, Nurida Finahari<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Widyagama Malang, Jawa Timur, Indonesia

\*email: [Nova@widyagama.ac.id](mailto:Nova@widyagama.ac.id)

Received: 7 November 2024

Revised: 20 November 2024

Accepted: 22 November 2024

---

## Abstract

*A problem in Indonesia is the suboptimal utilisation of solar radiation energy. The main equipment in the absorption of solar radiation heat is the absorber plate. Efforts to improve the ability of the absorber plate include providing a layer of asphalt on the surface of the absorber plate to increase the heat conductivity value of the mortar and improve the performance of the solar water heater. The research was conducted experimentally comparing with and without the addition of asphalt coating on mortar to determine the value of thermal conductivity, in addition, experimental tests were conducted comparing with and without the addition of asphalt coating to determine the improvement of solar water heater performance with variations in water flow rates (0.05, 0.15 and 0.25 litres/minute). The research resulted in a thermal conductivity value of mortar with asphalt coating of 1.25 W/m.°C higher than the standard mortar absorber plate of 1.13 W/m.°C. Experimental testing resulted in an increase in the efficiency of the solar water heater with the addition of an asphalt layer on the absorber plate compared to the standard solar water heater at water flow rates of 0.05, 0.15 and 0.25 litres/minute by 15.59%, 7.96% and 3.40%, respectively.*

*Keywords: asphalt; absorber plate; thermal conductivity; efficiency; solar water heater.*

---

## Abstrak

Masalah di Indonesia adalah belum optimalnya pemanfaatan energi radiasi matahari. Peralatan utama pada penyerapan panas radiasi matahari adalah pelat penyerap. Usaha untuk meningkatkan kemampuan pelat penyerap diantaranya dengan memberikan lapisan aspal pada permukaan pelat penyerap untuk meningkatkan nilai konduktivitas panas mortar dan meningkatkan kinerja *solar water heater*. Penelitian dilakukan secara eksperimen perbandingan dengan dan tanpa penambahan lapisan aspal pada mortar untuk mengetahui nilai konduktivitas panas, selain itu dilakukan pula uji eksperimen perbandingan dengan dan tanpa penambahan lapisan aspal untuk mengetahui peningkatan kinerja *solar water heater* dengan variasi laju aliran air (0,05, 0,15 dan 0,25 liter/menit). Penelitian menghasilkan nilai konduktivitas termal mortar dengan lapisan aspal sebesar 1,25 W/m.°C lebih tinggi dibandingkan pelat penyerap mortar standar sebesar 1,13 W/m.°C. Pengujian eksperimen menghasilkan peningkatan efisiensi *solar water heater* dengan penambahan lapisan aspal pada pelat penyerap dibandingkan dengan *solar water heater* standar pada laju aliran air 0,05, 0,15 dan 0,25 liter/menit masing-masing sebesar 15,59%, 7,96% dan 3,40%.

**Kata kunci:** aspal; pelat penyerap; konduktivitas termal; efisiensi; *solar water heater*.

---

## 1. Pendahuluan

Negara Indonesia terletak di daerah katulistiwa pada lintang ( $6^{\circ}$  LU –  $11^{\circ}$  LS dan  $35^{\circ}$ BT –  $141^{\circ}$ BT), yang memperoleh radiasi surya yang cukup melimpah dengan rata-rata 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari [1]. Radiasi surya ini dapat dikonversikan menjadi energi termal yang berguna untuk pemanasan air, pengeringan, pompa air, desalinasi air laut/payau dan pengkondisian udara [2]. Energi matahari dapat dikonversi secara langsung menjadi bentuk energi lain dalam proses produksi listrik oleh sel-sel surya (*helioelectrical*) dan dalam proses penyerapan radiasi matahari menjadi energi termal (*heliothermal*).

Salah satu pemanfaatan potensi energi matahari melalui proses *heliothermal* adalah pemanas air (*Solar water heating system*) dengan keunggulannya ramah lingkungan dan

ekonomis [3]. *Solar water heater* menggunakan panel surya (kolektor) atau pelat penyerap untuk mengumpulkan dan menyerap radiasi matahari yang kemudian diubah menjadi energi panas.

Pelat penyerap merupakan komponen penting pada sistem *solar water heater*, sehingga pelat penyerap selalu di kembangkan [4]. Beberapa penelitian telah menggunakan beton mortar sebagai bahan pelat penyerap, menurut [5] pemanfaatan beton atau mortar sebagai pelat penyerap, keuntungannya mudah di peroleh, mudah di bentuk, dan merupakan material yang dapat menyimpan energi. Mortar merupakan material yang terbuat dari campuran semen, pasir dan air dengan komposisi tertentu [6].

Efisiensi termal *solar water heater* bergantung pada jenis pelat penyerap, intensitas radiasi matahari, dan temperatur air yang dibutuhkan [7]. Bentuk permukaan pelat penyerap gelombang dengan aliran zig-zag beralur balok dapat meningkatkan efisiensi *solar water heater* dengan efisiensi rata-rata sebesar 19,81 % [5]. Berdasarkan data hasil penelitian sebelumnya, peneliti telah melakukan penambahan cat hitam doff pada permukaan untuk meningkatkan nilai penyerapan panas radiasi matahari. Hasil riset, warna cat hitam doff pada permukaan pelat penyerap menghasilkan panas sebesar 97°C, dan sesuai dengan teori black body [1].

Efisiensi *solar water heater* juga dipengaruhi oleh laju aliran air. Pada penelitian sebelumnya, *solar water heater* dengan variasi laju aliran air 2 liter/menit, 3 liter/menit dan 4 liter/menit menunjukkan hasil efisiensi tertinggi pada laju aliran air 4 liter/menit sebesar 50% [8]. Penelitian lain yang menunjukkan bahwa pada serpentine *solar water heater* berbahan pipa tembaga dengan laju aliran air 1 liter/menit menghasilkan temperatur paling tinggi mencapai 43.42°C dan efisiensi total mencapai 46.14% [9].

Namun belum dilakukan penelitian penambahan aspal sebagai lapisan permukaan penyerap untuk meningkatkan nilai penyerapan radiasi matahari. Aspal mempunyai warna hitam natural dan mempunyai nilai konduktivitas panas sebesar 0,75 W/m.K [10]. Karena aspal yang digunakan meleleh pada temperatur sekitar 60 °C dan cair pada temperatur 75 °C – 100 °C, sehingga aspal dapat masuk ke dalam pori-pori mortar. Pori-pori yang tertutup aspal dapat meningkatkan nilai konduktivitas panas pada pelat penyerap mortar. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk menganalisa pengaruh penambahan lapisan aspal pada permukaan pelat penyerap terhadap kinerja *solar water heater*.

## 2. Metode

### Tempat dan Material Penelitian

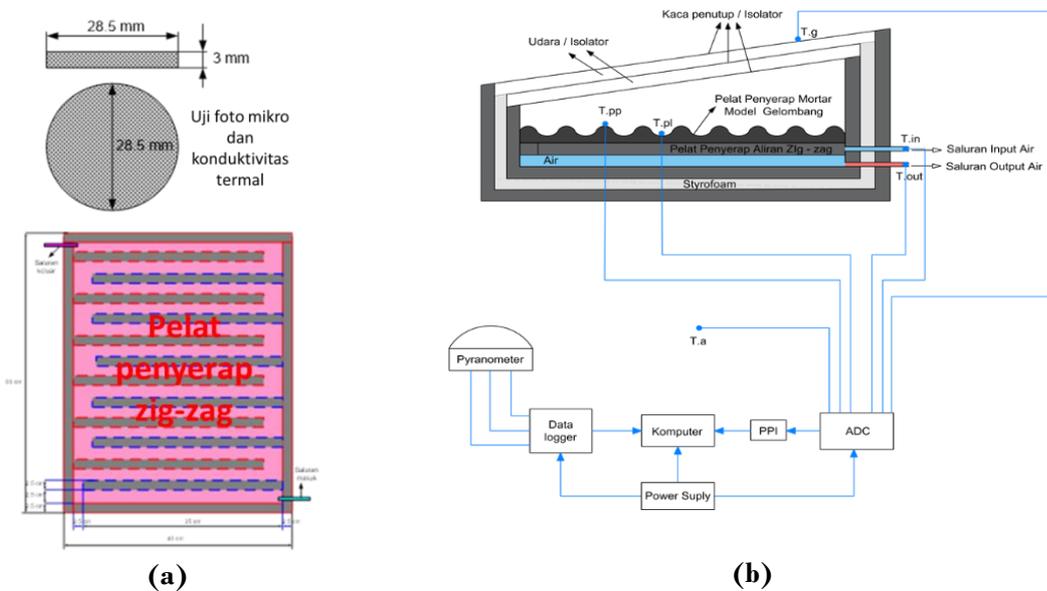
Penelitian eksperimen mengidentifikasi penambahan lapisan aspal pada pelat penyerap mortar untuk meningkatkan kinerja *solar water heater* memiliki 3 tahap, yaitu: 1). Pengujian foto mikro dilakukan di Lab. Metalurgi Fisik Universitas Widyagama Malang yang bertujuan untuk mengidentifikasi mortar dengan dan tanpa penambahan lapisan aspal, sehingga memperkuat penyebab nilai konduktivitas panas 2). Pengujian konduktivitas panas material mortar dilakukan di Lab. Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya Malang yang bertujuan untuk mengidentifikasi nilai konduktivitas panas mortar dengan dan tanpa penambahan lapisan aspal 3). Pengujian *solar water heater* dilakukan di Lab. Energi Surya dan Alternatif Universitas Widyagama Malang yang bertujuan untuk mengidentifikasi kinerja *solar water heater* menggunakan pelat penyerap mortar dengan dan tanpa penambahan lapisan aspal dengan variasi laju aliran air.

Pelat penyerap merupakan komponen penting pada *solar water heater* yang berfungsi untuk menyerap radiasi matahari dan mengkonversi menjadi energi kalor yang berguna.

Pelat penyerap menggunakan mortar dengan campuran 2 pasir besi: 1 semen. Desain spesimen uji foto mikro, uji konduktivitas panas material, dan desain alur aliran air zig-zag dapat dilihat di gambar 1 (a), serta desain eksperimen dapat di lihat pada gambar 1 (b). Pelat penyerap mortar bergelombang dilapisi aspal dan dibandingkan dengan pelapisan cat hitam doff (standar) guna memaksimalkan penyerapan radiasi matahari. Isolator menggunakan styrofoam tebal 5 cm diberikan untuk mengurangi kehilangan panas melalui dinding dan alas *solar water heater*. Lem kaca di berikan sebagai perekat sekaligus isolator termal.

**Variabel penelitian dan peralatan ukur**

Pengujian kinerja *solar water heater* menggunakan pelat penyerap dengan lapisan aspal dan *solar water heater* dengan penambahan lapisan aspal cat hitam doff atau standar. Kedua *solar water heater* di berikan variasi laju aliran air 0,05 liter/menit, 0,15 liter/menit dan 0,25 liter/menit yang dilakukan pengujian selama lima hari untuk setiap variasi laju aliran air. Peralatan ukur menggunakan pyranometer untuk mengukur intensitas radiasi matahari, gelas ukur dan stopwatch untuk mengukur laju aliran air dan termokopel tipe K untuk mengukur temperatur. Pengambilan data dilakukan setiap interval 5 menit dan di akuisisi menggunakan data logger dimulai dari jam 07.00 sampai 17.00 WIB selama 10 jam.



Gambar 1. (a) Desain spesimen uji foto mikro, uji konduktivitas termal, dan pelat penyerap zig-zag, (b) Desain eksperimen

**Persamaan efisiensi *solar water heater***

Persamaan perhitungan efisiensi *solar water heater* menggunakan persamaan dari penelitian [11][12], menjadi :

$$\eta_s = \frac{\dot{m}C_p (T_{out}-T_{in})}{A_c G_t} \tag{1}$$

Dimana  $\dot{m}$  adalah laju aliran fluida (liter/menit), sedangkan  $C_p$  adalah panas jenis fluida (KJ/kg $\cdot$ °C).  $T_{in}$  dan  $T_{out}$  masing-masing mewakili suhu masuk dan keluar fluida dalam derajat Celsius.  $G_t$  adalah intensitas radiasi matahari (W/m $^2$ ), dan  $A_c$  merupakan luas permukaan pelat penyerap (m $^2$ ).

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Foto Mikro Mortar

Dari hasil uji fotomikro di peroleh data berupa gambar yang dapat dilihat pada gambar 2, sebagai berikut:

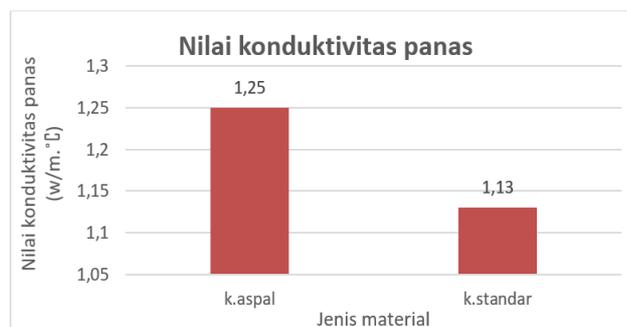


Gambar 2. Foto mikro mortar (a) Lapisan aspal dan (b) Standar

Gambar 2 merupakan hasil foto mikro pada mortar yang di lakukan pembelahan. Hasil pengujian foto mikro pada mortar menunjukkan bahwa mortar standar masih memiliki banyak pori-pori (void) yang dapat berpengaruh negative terhadap nilai konduktivitas panas dan berefek pada berkurangnya transfer panas. Sebaliknya, pada mortar yang dilapisi aspal, foto mikro memperlihatkan bahwa pori-pori di bagian dalam terisi aspal sebagian, sehingga pori-pori terisi aspal yang dapat berpengaruh positif terhadap nilai konduktivitas panas, sehingga berefek pada transfer panas [13][14].

#### 3.2 Konduktivitas Termal

Berdasarkan Gambar 5, nilai konduktivitas termal mortar dengan penambahan lapisan aspal mencapai angka tertinggi sebesar  $1,25 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ , sedangkan mortar standar hanya memiliki konduktivitas rata-rata sebesar  $1,13 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  pada suhu uji  $100 \text{ °C}$ . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan aspal meningkatkan kemampuan penghantaran panas mortar lebih baik dibandingkan dengan mortar standar. Hal ini dapat terjadi karena aspal memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi di bandingkan semen [15], sehingga dapat meningkatkan konduktivitas termal pada mortar yang mengarah pada peningkatan efisiensi perpindahan panas [16].

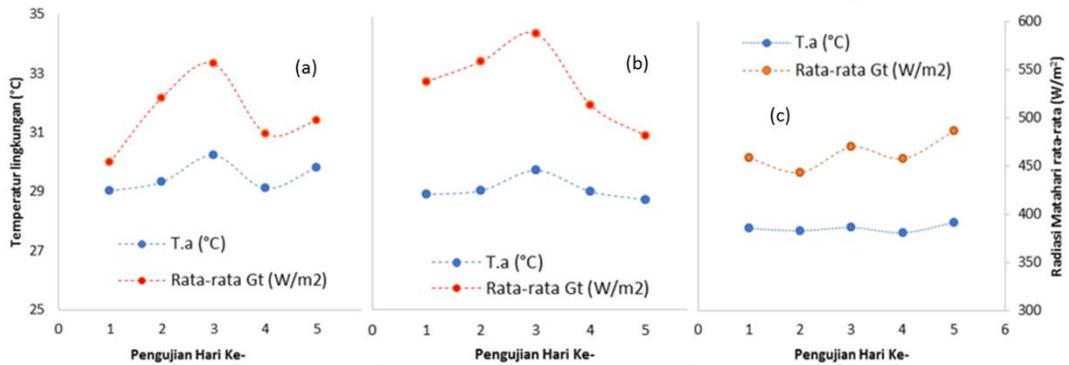


Gambar 3. Grafik nilai konduktivitas panas

#### 3.3 Temperatur Lingkungan

Pada gambar 4 terlihat hasil pengambilan data temperatur lingkungan, dimana temperatur lingkungan mempunyai pola yang sama dengan intensitas radiasi matahari. Dengan demikian temperatur lingkungan sangat di pengaruhi oleh besarnya intensitas radiasi matahari. Selain intensitas radiasi matahari, humiditas dan kecepatan angin juga

dapat mempengaruhi temperatur lingkungan [17]. Identifikasi temperatur lingkungan merupakan hal yang penting, karena dapat mempengaruhi transfer panas dari kaca penutup secara konveksi dan radiasi ke lingkungan [18][19].

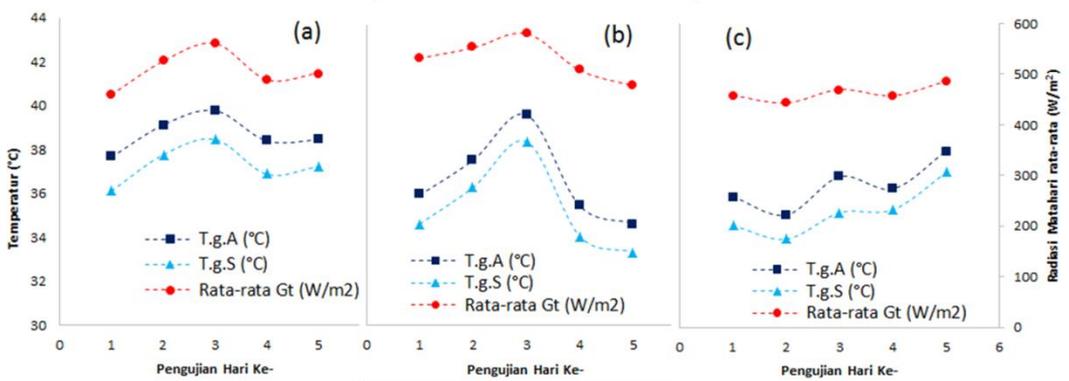


Gambar 4. Grafik temperatur lingkungan pada laju aliran air (a) 0,05 liter/menit, (b) 0,15 liter/menit, (c) 0,25 liter/menit

### 3.4 Temperatur Kaca Penutup

Pada Gambar 5 menunjukkan temperatur kaca penutup penambahan aspal pada permukaan pelat penyerap dan standar dengan variasi laju aliran air (0,05 liter/menit, 0,15 liter/menit, dan 0,25 liter/menit). Hasilnya menunjukkan bahwa temperatur kaca penutup menggunakan lapisan aspal pada pelat penyerap (T.g.A) lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan standar (T.g.S). Kondisi ini disebabkan oleh lapisan aspal diatas permukaan pelat penyerap lebih mampu menyerap panas radiasi matahari, sehingga mempengaruhi temperatur kaca penutup secara konveksi dan radiasi [20][21].

Pada gambar 5 (a) terlihat temperatur kaca penutup tertinggi menggunakan lapisan aspal diatas pelat penyerap pada laju aliran air 0.05 liter/menit sebesar 39,78°C, sedangkan pelat penyerap standar sebesar 38,46°C dengan intensitas radiasi matahari 550,19 W/m<sup>2</sup>. Pada gambar 5 (b) laju aliran air 0,15 liter/menit dengan lapisan aspal mempunyai temperatur kaca penutup tertinggi sebesar 39,81°C dan pelat penyerap standar sebesar 38,56°C pada intensitas radiasi matahari 582,52 W/m<sup>2</sup>. Pada gambar 5 (c) laju aliran air 0,25 liter/menit dengan lapisan aspal mempunyai temperatur kaca penutup tertinggi sebesar 38,13°C dan pelat penyerap standar sbesar 37,14°C pada intensitas radiasi matahari 486,51 W/m<sup>2</sup>.



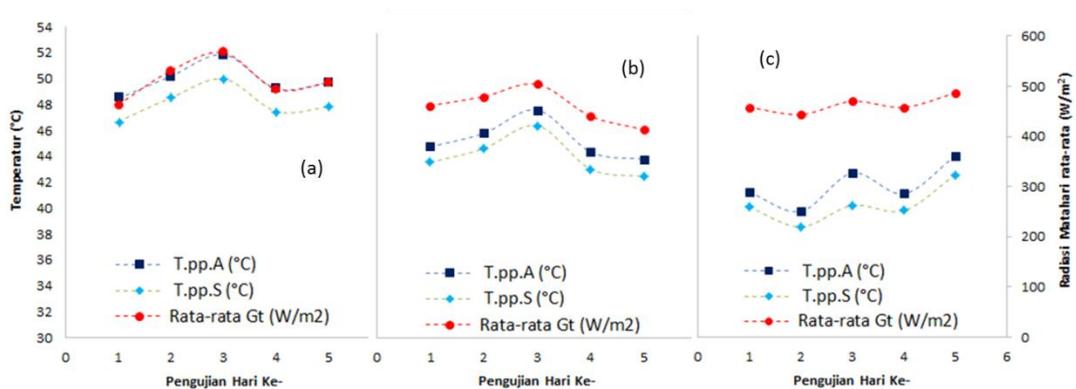
Gambar 5. Grafik temperatur kaca penutup pada laju aliran air (a) 0,05 liter/menit, (b) 0,15 liter/menit, (c) 0,25 liter/menit

Perubahan laju aliran air mempengaruhi energi panas yang diserap dan dilepaskan oleh sistem *solar water heater*. Pada laju aliran air yang lebih rendah (0,05 liter/menit), panas cenderung disimpan pada pelat penyerap lebih lama, menyebabkan panas di transfer ke kaca penutup, sehingga temperatur kaca penutup lebih tinggi. Sebaliknya, pada laju aliran air yang lebih tinggi (0,15 liter/menit dan 0,25 liter/menit) panas pelat penyerap akan di transfer ke air yang lebih cepat, sehingga temperatur pelat penyerap cepat menurun. Radiasi matahari memiliki pengaruh langsung terhadap kenaikan temperatur kaca penutup akibat penyerapan panas.

### 3.5 Temperatur Pelat Penyerap

Pada gambar 6 terlihat secara keseluruhan variasi laju aliran, sistem *solar water heater* dengan lapisan aspal menunjukkan temperatur pelat penyerap lebih tinggi dibandingkan dengan pelat penyerap standar. Kondisi tersebut di sebabkan oleh lapisan aspal berwarna hitam gelap, sehingga penyerapan panas radiasi matahari tinggi. Dikarenakan warna pelat penyerap dengan lapisan aspal lebih hitam yang menyebabkan penyerapan panas lebih maksimal. Berdasarkan gambar 6 terlihat temperatur pelat penyerap tertinggi menggunakan laju aliran yang kecil di bandingkan dengan laju aliran yang lebih besar. Kondisi demikian di sebabkan oleh penyerapan panas yang lebih optimal dan transfer panas yang relatif lambat di bandingkan dengan laju aliran air yang lebih besar.

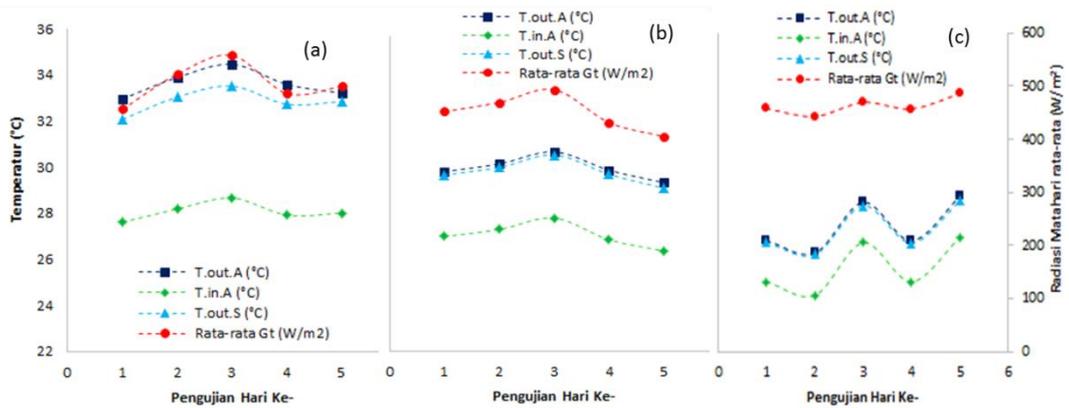
Pada gambar 6 (a) temperatur pelat penyerap dengan variasi laju aliran air 0,05 liter/menit menggunakan lapisan aspal memperoleh nilai tertinggi sebesar  $51,85^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pelat penyerap standar sebesar  $49,99^{\circ}\text{C}$  pada intensitas radiasi matahari  $550,19\text{ W/m}^2$ . Pada gambar 6 (b) temperatur pelat penyerap tampak laju aliran air 0,15 liter/menit menggunakan lapisan aspal lebih tinggi sebesar  $47,94^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan pelat penyerap standar sebesar  $46,71^{\circ}\text{C}$ . Pada gambar 6 (c) temperatur terlihat laju aliran air 0,25 liter/menit pelat penyerap dengan lapisan aspal sebesar  $44,46^{\circ}\text{C}$  dan pelat penyerap standar sebesar  $42,94^{\circ}\text{C}$  pada intensitas radiasi matahari  $486,51\text{ W/m}^2$ . Rendahnya temperatur pelat penyerap pada laju aliran air yang semakin besar di sebabkan oleh adanya perpindahan panas konveksi dari permukaan bawah pelat penyerap ke air yang lebih besar. Temperatur pelat penyerap rata-rata mulai jam 07.00 hingga 17.00 WIB yang masih lebih tinggi dari temperatur lingkungan mengindikasikan panas masih tersimpan pada sistem *solar water heater*, sehingga air panas masih dapat di manfaatkan pada malam dan pagi hari.



Gambar 6. Grafik temperatur pelat penyerap pada laju aliran air (a) 0,05 liter/menit, (b) 0,15 liter/menit, (c) 0,25 liter/menit

### 3.6 Temperatur Air Masuk dan Keluar

Berdasarkan gambar 7. terlihat menggunakan lapisan aspal pada permukaan pelat penyerap memiliki temperatur keluar ( $T_{out.A}$ ) yang lebih tinggi di dibandingkan dengan standar ( $T_{out.S}$ ). Kondisi ini disebabkan karena lapisan aspal dapat menyerap panas lebih tinggi dan dapat masuk sebagian ke pori-pori pelat penyerap, sehingga dapat membantu meningkatkan nilai konduktivitas panas. Meningkatnya nilai konduktivitas panas dapat meningkatkan transfer panas dari permukaan atas ke permukaan pelat penyerap bagian bawah dan selanjutnya dapat meningkatkan transfer panas secara konveksi ke air.



Gambar 7. Grafik temperatur air masuk dan keluar pada laju aliran air (a) 0,05 liter/menit, (b) 0,15 liter/menit, (c) 0,25 liter/menit

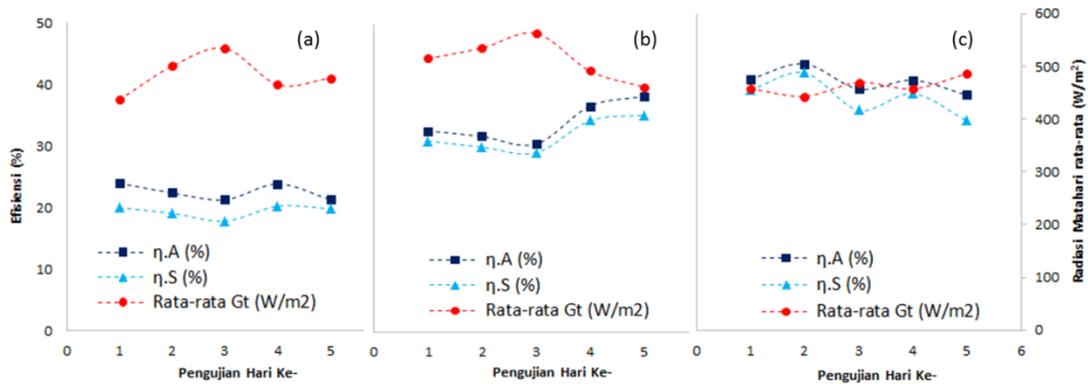
Pada gambar 7 terlihat dengan laju aliran air yang lebih rendah memiliki nilai temperatur air keluar yang lebih tinggi di dibandingkan dengan variasi laju aliran yang lebih tinggi. Kondisi ini disebabkan pada variasi laju aliran air yang rendah, air memiliki kesempatan yang lebih lama dalam menyerap panas dari permukaan bawah pelat penyerap. Selain itu, dapat di sampaikan pula bahwa semakin tinggi laju aliran air, maka perbedaan temperatur air keluar dengan dan tanpa lapisan aspal semakin kecil, hal ini di sebabkan perbedaan nilai konduktivitas panas keduanya sangat kecil. Dapat diinformasikan pada gambar 7(a) menggunakan laju aliran air 0.05 liter/menit dengan lapisan aspal memiliki temperatur air keluar tertinggi sebesar  $34,46^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pelat penyerap standar sebesar  $33,51^{\circ}\text{C}$  dengan intensitas radiasi matahari  $550,19 \text{ W/m}^2$ . Pada gambar 7(b) temperatur air keluar dengan variasi laju aliran air 0.15 liter/menit pada pelat penyerap lapisan aspal lebih tinggi sebesar  $30,88^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan pelat penyerap standar sebesar  $30,75^{\circ}\text{C}$  pada intensitas radiasi matahari  $582,52 \text{ W/m}^2$ . Sedangkan pada laju aliran air 0,25 liter/menit temperatur air keluar menggunakan pelat penyerap dengan lapisan aspal sebesar  $28,82^{\circ}\text{C}$  dan menggunakan pelat penyerap standar  $27,03^{\circ}\text{C}$  pada intensitas radiasi matahari  $486,51 \text{ W/m}^2$ .

### 3.7 Efisiensi Solar water heater

Data dari hasil penelitian, kemudian dilakukan perhitungan efisiensi kinerja *solar water heater* dengan variasi laju aliran air 0,05, 0,15 dan 0,25 liter/menit yang disajikan pada gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa efisiensi dengan penambahan lapisan aspal pada pelat penyerap lebih tinggi dibandingkan pelat penyerap standar. Kondisi ini di sebabkan oleh nilai konduktivitas panas pelat penyerap penambahan lapisan aspal yang lebih tinggi, sehingga berefek pada peningkatan kemampuan transfer panas dari permukaan pelat penyerap ke air. Peningkatan kemampuan transfer panas tersebut akan berefek pada peningkatan temperatur air keluar yang selanjutnya berefek positif terhadap peningkatan efisiensi *solar water heater*.

Semakin tinggi laju aliran air, maka semakin tinggi pula efisiensi *solar water heater* [22][23]. Tingginya efisiensi *solar water heater* pada variasi laju aliran air yang lebih tinggi di sebabkan oleh tidak liniernya peningkatan nilai laju aliran air dengan peningkatan beda

temperatur air masuk dan keluar. Hal ini disebabkan oleh nilai konduktivitas termal pelat penyerap kecil, sehingga berefek pada lambatnya transfer panas dan penyimpanan panas pelat penyerap yang besar [24] [25].



Gambar 8. Grafik Efisiensi *solar water heater* pada laju aliran air (a) 0,05 liter/menit, (b) 0,15 liter/menit, (c) 0,25 liter/menit

Sebagai bahan informasi efisiensi *solar water heater* menggunakan penambahan lapisan aspal pada pelat penyerap tertinggi masing-masing pada laju aliran air 0,05, 0,15 dan 0,25 liter/menit adalah 23,93% pada radiasi matahari rata-rata sebesar 450,21 W/m<sup>2</sup>, 38,33% pada radiasi matahari rata-rata sebesar 478,18 W/m<sup>2</sup> dan 42,09% pada radiasi matahari rata-rata sebesar 486,51 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan efisiensi *solar water heater* standar tertinggi pada laju aliran air 0,05, 0,15 dan 0,25 liter/menit masing-masing sebesar 20,20% pada radiasi matahari rata-rata sebesar 479,35 W/m<sup>2</sup>, 35,28% pada radiasi matahari rata-rata sebesar 478,18 W/m<sup>2</sup> dan 40,66% pada radiasi matahari rata-rata sebesar 486,51 W/m<sup>2</sup>. Peningkatan efisiensi *solar water heater* menggunakan penambahan lapisan aspal pada pelat penyerap terhadap *solar water heater* standar masing-masing pada laju aliran air 0,05, 0,15 dan 0,25 liter/menit adalah 15,59%, 7,96% dan 3,40%.

#### 4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai konduktivitas termal mortar dengan lapisan aspal sebesar 1,25 W/m.°C lebih tinggi dibandingkan pelat penyerap mortar standar sebesar 1,13 W/m.°C. Pengujian eksperimen menghasilkan peningkatan efisiensi *solar water heater* dengan penambahan lapisan aspal pada pelat penyerap dibandingkan dengan *solar water heater* standar pada laju aliran air 0,05, 0,15 dan 0,25 liter/menit masing-masing sebesar 15,59%, 7,96% dan 3,40%.

#### Ucapan Terima Kasih

Kami sebagai tim peneliti, Menyampaikan terima kasih kepada PDDIKTI atas dukungannya dalam pembiayaan kegiatan penelitian ini dengan nomor kontrak :7308/E2/DT.01.00/2023

#### Referensi

- [1] D. R. Tambunan, G. Gultom, and D. I. Situngkir, "Absorpsivitas Cat Sintetis Enamel Kusam (Doff) Berbahan Dasar Resin Alkyd Dengan Tipe High Gloss Pada Aplikasi Cat Pelapis Pemanas Air Surya," *Met. Indones.*, vol. 41, no. 1, p. 10, 2019.
- [2] K. Hainz and Y. Rumbiak, "Efisiensi Termal Desain Sistem Pemanas Air Energi With Variations Of The Number Of Iron Pipe Collectors," vol. 18, no. 2, pp. 128–139, 2022.
- [3] I. L. Mohammed, "Desain dan pengembangan dish paraboli," pp. 822–830, 2012.
- [4] W. P. Harahap, "Analisa Kinerja *Solar water heater* Dengan Variasi Ukuran Hexagonal

- Honeycomb Sebagai Penghantar Panas,” *J. Ilm. Mhs. Tek.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–10, 2021.
- [5] Ismail N.R, “Pengaruh pelat penyerap ganda model gelombang dengan penambahan reflector terhadap kinerja *solar water heater* sederhana,” *Proton*, vol. 03, no. 02, 2010.
- [6] E. Hunggurami *et al.*, “Kuat Tekan Beton Normal Dan Mortar,” vol. VIII, no. 2, pp. 265–272, 2019.
- [7] P. P. Muñoz, D. C. Fresno, P. S. Bravo, and A. A. Estébanez, “Thermal and hydraulic analysis of multilayered asphalt pavements as active solar collectors,” vol. 111, pp. 324–332, 2013.
- [8] N. A. Pambudi, I. R. Nanda, and A. D. Saputro, “The energi efficiency of a modified v-corrugated zinc collector on the performance of *solar water heater* (SWH),” *Results Eng.*, vol. 18, no. March, 2023.
- [9] Y. Ahnaf, “Uji Eksperimental Efisiensi Termal Serpentine *Solar water heater* Dengan Laju Aliran Air 1 Lpm,” *NOZEL J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, p. 110, 2023.
- [10] L. and G.-T. C. Engineering ToolBox, *Solids, No Title*. 2003.
- [11] A. M. ardiyansyah, M, “Rancang Bangun *Solar Water Heater* Menggunakan Plat Datar,” *Undip E-Journal*, pp. 1–14, 2023.
- [12] A. R. Fadhillah, A. Kurniawan, H. Kurniawan, and N. R. Ismail, “Pengaruh bentuk dan optimasi luasan permukaan pelat penyerap terhadap efisiensi *solar water heater* sederhana,” vol. 5, no. 2, pp. 47–53, 2013.
- [13] H. Liu and X. Zhao, “Thermal Conductivity Analysis of High Porosity Structures with Open and Closed Pores,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 183, p. 122089, 2022.
- [14] N. R. Ismail, S. Soeparman, D. Widhiyanuriyawan, and W. Wijayanti, “The effect of water salinity and radiation intensity to the temperature distribution and evaporation rate inside porous media,” *Teh. Vjesn.*, vol. 28, no. 2, pp. 379–384, 2021.
- [15] J.-H. Bae, B. H. Woo, H. G. Kim, and J.-S. Ryou, “Enhancing the thermal properties of cement composites through substitution of the fine aggregate using metallic material,” *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 24, no. 2, p. 2144311, Jan. 2023.
- [16] S. P. Wu, B. Li, H. Wang, and J. Qiu, “Numerical Simulation of Temperature Distribution in Conductive Asphalt Solar Collector due to Pavement Material Parameters,” in *Physical and Numerical Simulation of Materials Processing*, 2008, vol. 575, pp. 1314–1319.
- [17] C. N. Octarino and A. Kristiadi, “Karakteristik Iklim Mikro Di Ruang Publik, Studi Kasus: Jalur Pedestrian Malioboro , Yogyakarta,” *J. Arsit. GRID*, vol. 1, no. 2, pp. 6–9, 2019.
- [18] R. R. Kumar, “Heat Transfer Analysis of Advanced Solar Collector,” *Indian J. Energi Energi Resour.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–4, 2022.
- [19] N. R. Ismail, P. Suwandono, D. Hermawan, and F. D. Anggraeni, “Identifying enhancement of double slope solar still performance by adding water cooling to walls,” *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 3, no. 8 (129), pp. 33–44, 2024.
- [20] N. R. Ismail, P. Suwandono, D. Hermawan, A. Farid, and F. D. Anggraeni, “Effect of Internal Reflectors on Daily Performance of Double Slope Solar Stills with Porous Fin Absorber Plate,” *J. Sci. Appl. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 34–41, 2024.
- [21] N. T. Alwan *et al.*, “Assessment of the performance of *solar water heater* : an experimental and theoretical investigation,” *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 17, no. April, pp. 528–539, 2022.

- [22] N. A. Pambudi, T. Radhitya, and I. R. Nanda, “Analysis of the Effect of Flow Rate on the Performance of *Solar water heater* Trickle System,” in *2022 7th International Conference on Power and Renewable Energi (ICPRE)*, 2022, pp. 1103–1107.
- [23] F. Plaza Gomariz, J. M. Cejudo López, and F. Domínguez Muñoz, “An analysis of low flow for solar thermal system for water heating,” *Sol. Energi*, vol. 179, pp. 67–73, 2019.
- [24] N. R. Ismail, S. Soeparman, D. Widhiyanuriyawan, and W. Wijayanti, “Temperature Distribution and Evaporation Rate in Porous Media,” *J. Southwest Jiaotong Univ.*, vol. 55, no. 3, pp. 1–12, 2020.
- [25] S. Hossain, A. W. Abbas, J. Selvaraj, F. Ahmed, and N. A. Rahim, “Experiment of a Flat Plate *Solar water heater* Collector with Modified Design and Thermal Performance Analysis,” in *Advanced Development in Automation, Materials and Manufacturing*, 2014, vol. 624, pp. 332–338.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

---