

ANALISIS PENGARUH KACA PENUTUP MODEL PIRAMIDA TERHADAP KINERJA SOLAR WATER HEATER

Muhammad Awi Prasetyo¹, Nova Risdiyanto Ismail^{2*}, Akhmad Farid³, Dadang Hermawan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama

*email: nova@widyagama.ac.id

DOI : 10.48144/suryateknika.v9i2.2174

Received: 8 Agustus 2025

Revised: 1 September 2025

Accepted: 7 Oktober 2025

Abstract

The use of solar energy in solar water heaters (SWH) is being developed, especially to improve their performance. The performance of SWH is influenced by the solar radiation energy that can be absorbed by the absorber plate through the cover glass. Thus, the cover glass model is important for optimizing the solar radiation energy that can be absorbed by the absorber plate. This study aims to evaluate the performance of SWH with a pyramid-shaped cover glass compared to the standard model. The SWH study was conducted experimentally with variations in water flow rate (0.05; 0.15; 0.25 liters/minute) for 15 days. Parameters such as glass temperature, absorber plate temperature, outlet water temperature, and SWH efficiency were analyzed comparatively. The results of this SWH study show that the pyramid-shaped cover glass achieved the highest efficiency of 49.41%, an increase of 6.59% compared to the standard cover glass. The pyramid-shaped cover glass design is more effective in increasing the solar radiation received by the absorber plate compared to the standard cover glass.

Keywords: Solar water heater; pyramid cover glass; water flow rate; efficiency.

Abstrak

Pemanfaatan energi matahari pada *solar water heater* (SWH) berusaha dikembangkan, terutama untuk meningkatkan kinerjanya. Kinerja SWH dipengaruhi oleh energi radiasi matahari yang dapat diterima oleh pelat penyerap melalui kaca penutup. Dengan demikian model kaca penutup merupakan hal yang penting untuk mengoptimalkan energi radiasi matahari yang dapat diterima oleh pelat penyerap. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja SWH dengan kaca penutup model piramida yang dibandingkan dengan model standar. Penelitian SWH dilakukan secara eksperimen dengan variasi laju aliran air (0,05; 0,15; 0,25 liter/menit) selama 15 hari. Parameter seperti temperatur kaca, pelat penyerap, air keluar, serta efisiensi SWH dianalisis secara komparatif. Hasil penelitian SWH ini menunjukkan bahwa kaca penutup model piramida memperoleh efisiensi tertinggi sebesar 49,41%, meningkat hingga 6,59% dibandingkan kaca penutup model standar. Desain demikian kaca penutup model piramida lebih efektif dalam meningkatkan radiasi matahari yang dapat diterima oleh pelat penyerap dibandingkan kaca penutup model standar.

Kata kunci : *Solar water heater*; kaca penutup piramida; laju aliran air; efisiensi.

1. Pendahuluan

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi matahari yang sangat besar dan melimpah [1]. Namun, hingga saat ini, potensi ini masih belum dimanfaatkan secara optimal. Menurut [2], intensitas radiasi rata-rata 4,8 $kWh/m^2/hari$ dan potensi 270,8 GW energi matahari di Indonesia, teknologi energi terbarukan seperti pemanas air tenaga surya (*solar water heater*) dapat dikembangkan [3] [4]. Malang raya merupakan kawasan pegunungan dengan suhu udara yang dingin, memiliki banyak tempat wisata dan perhotelan [5], sehingga kebutuhan air panas di daerah ini cukup tinggi.

Penelitian terdahulu berusaha untuk meningkatkan efisiensi *solar water heater* (SWH). Peneliti berusaha mengembangkan SWH, seperti mengembangkan pelat penyerap model gelombang [6] [7], menambahkan reflektor [8], menggunakan material isolasi seperti

sterofoam [9], dan mengembangkan kaca penutup dengan menambah jumlah lapisan dan mengubah sudut kemiringan [6]. Kaca penutup merupakan salah satu komponen penting pada sistem SWH, sehingga kaca penutup terus mengalami perkembangan [10]. Disisilain [11] menggunakan kaca bening sebagai kaca penutup dapat mentransmisikan radiasi matahari, selain itu menurut [12] kaca merupakan material yang mampu menahan panas. Pada SWH, jumlah kaca penutup tiga lapis dapat mempertahankan energi radiasi matahari yang tersimpan didalam sistem dan dapat meningkatkan efisiensi *SWH* sebesar 65 % [13]. Menurut [14] menggunakan kaca penutup transparan tebal 5 mm menghasilkan efisiensi SWH sebesar 48,4 %. Dari hasil penelitian [15], menunjukkan bahwa sudut kemiringan kaca sangat berpengaruh, terbukti dalam hasil penelitiannya kaca penutup dengan kemiringan 45° menghasilkan kondensat 29% lebih tinggi dibandingkan dengan sudut kemiringan kaca 60°, dan efisiensi rata-rata distilasi surya jenis *double slope* dengan kemiringan kaca penutup 45° mencapai 40,07%.

Model kaca penutup standar dengan sudut kemiringan tetap masih banyak digunakan dalam penelitian sebelumnya [16], [17]. Namun, konfigurasi ini memiliki kelemahan dalam hal memaksimalkan transmisi radiasi matahari seiring waktu, yang disebabkan oleh posisi matahari yang terus berubah. Karena orientasinya yang bertahap, permukaan kaca miring mungkin sedikit meningkatkan radiasi matahari selama periode waktu yang relevan. Akibatnya, pelat penyerap hanya mengalami intensitas radiasi maksimum sekitar tengah hari, sedangkan pada pagi dan sore hari penyerapan energi cenderung menurun. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh [18] yang membandingkan kaca *solar still* dengan kaca model *double slope* dan piramida menunjukkan bahwa kaca model piramida hampir sama dalam hal produktivitas dan efisiensi dengan kaca model *double slope*. Ini menunjukkan bahwa kaca model piramida dapat digunakan dalam sistem yang menggunakan energi matahari.

Penelitian ini berusaha untuk mengoptimalkan transmisi energi radiasi matahari dari pagi hingga sore hari melalui penggunaan kaca penutup model piramida pada SWH. Dengan strukturnya yang simetris dan terbuka dari berbagai arah, desain ini diharapkan dapat meningkatkan temperatur air dan efisiensi sistem secara keseluruhan dibandingkan dengan model kaca penutup standar.

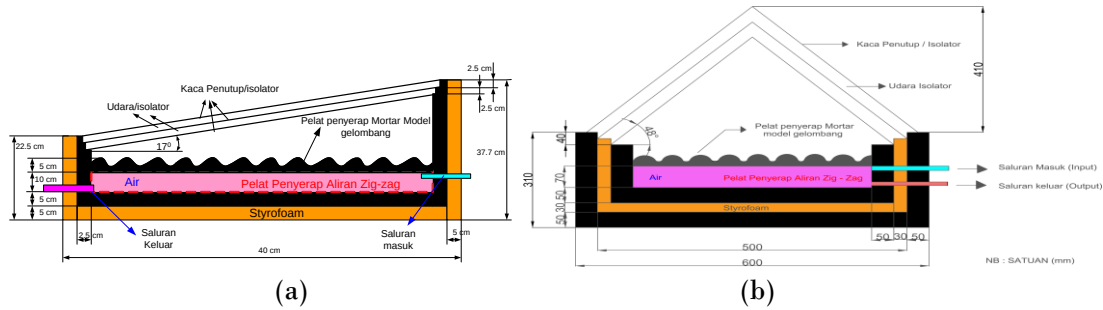
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh kaca penutup model piramida terhadap kinerja *solar water heater*, khususnya dari segi efisiensi SWH, dibandingkan dengan kaca penutup model standar. Dengan menggunakan metode ini, diharapkan dapat diperoleh kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi energi matahari yang lebih efisien dan sesuai dengan lingkungan geografis Indonesia.

2. Metode

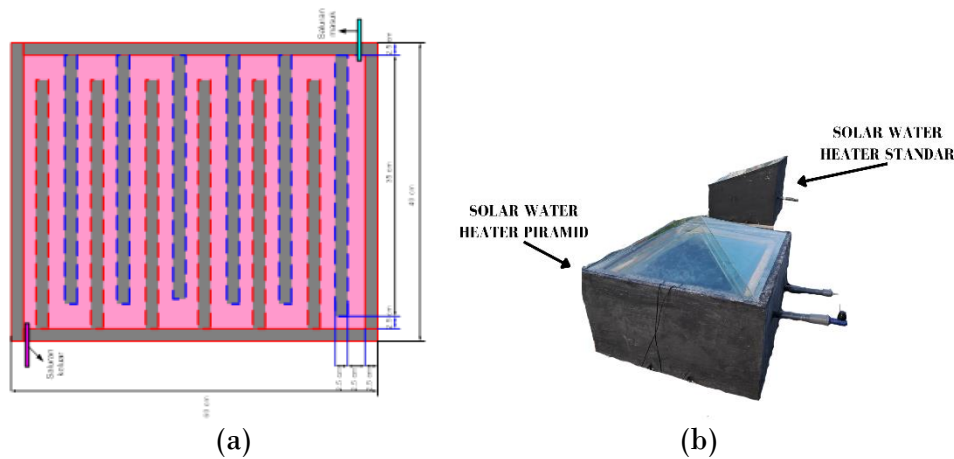
Tempat dan Material Penelitian

Pengujian *solar water heater* kaca penutup piramida (SWH.P) dan kaca penutup standar (SWH.S) dilakukan di Lab. Energi Surya dan Alternatif Universitas Widyagama Malang yang bertujuan untuk mengidentifikasi kinerja *solar water heater*. Kedua *solar water heater* diberikan variasi laju aliran air 0,05 liter/menit, 0,15 liter/menit dan 0,25 liter/menit yang dilakukan pengujian selama lima belas hari untuk setiap variasi laju aliran air (lima hari satu variasi). 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

diakuisisi menggunakan data *logger* dimulai dari jam 07.00 sampai 17.00 WIB selama 10 jam.



Gambar 1. (a) Desain *solar water heater* kaca penutup standar (SWH.S), (b) *Solar water heater* kaca penutup piramida (SWH.P)



Gambar 2. (a) Desain pelat penyerap *solar water heater*, (b) SWH.P dan SWH.S

Kinerja atau efisiensi *solar water heater* menggunakan persamaan dari [19], sebagai berikut:

$$\eta_s = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_t} \quad (1)$$

$$\eta_s = \frac{\dot{m} C_p (T_{out} - T_{in})}{A_c G_t} \times 100 \quad (2)$$

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

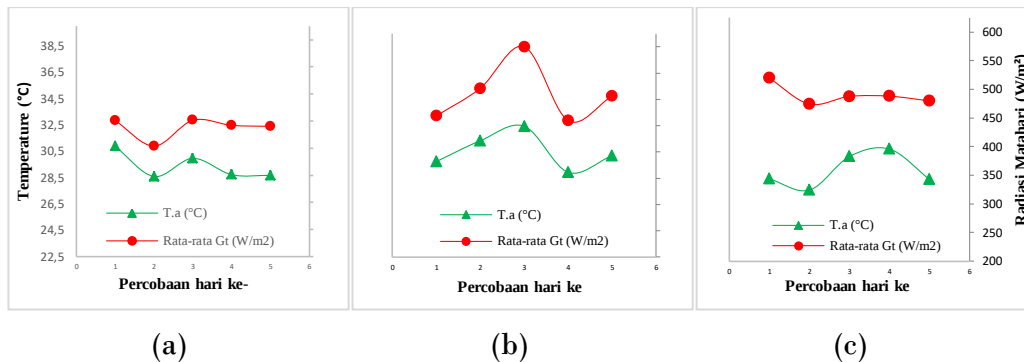
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil data yang diperoleh berdasarkan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui perbandingan efisiensi SWH.P dan SWH.S. Hasil dan pembahasan sebagai berikut:

3.1 Temperatur lingkungan (T_a)

Pada gambar 3 terlihat hasil pengambilan data temperatur lingkungan, dimana temperatur lingkungan mempunyai pola yang sama dengan intensitas radiasi matahari. Dengan demikian temperatur lingkungan sangat dipengaruhi oleh besarnya intensitas radiasi matahari. Selain intensitas radiasi matahari, humiditas dan kecepatan angin juga

dapat mempengaruhi temperatur lingkungan. Identifikasi temperatur lingkungan merupakan hal yang penting, karena dapat mempengaruhi transfer panas dari kaca penutup secara konveksi dan radiasi ke lingkungan [20] [21].

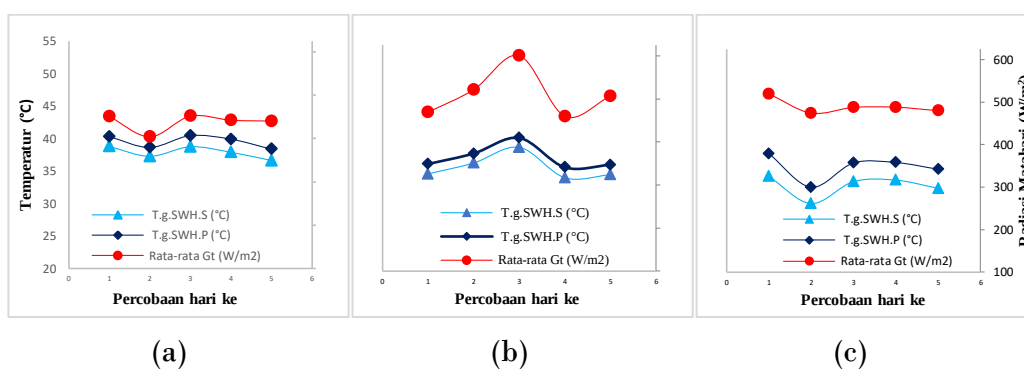


Gambar 3. Grafik temperatur lingkungan pada variasi laju aliran (a) laju aliran 0,05, (b) 0,15 dan (c) 0,25 liter/menit.

3.2 Temperatur kaca ($T.g$)

Pada Gambar 4 menunjukkan temperatur kaca SWH.P dan SWH.S dengan variasi laju aliran air (0,05, 0,15, dan 0,25 liter/menit). Hasilnya menunjukkan bahwa temperatur kaca pada SWH.P ($T.g.p$) lebih tinggi dibandingkan dengan SWH.S ($T.g.s$). Kondisi ini disebabkan oleh bentuk kaca penutup piramida yang dapat mentransfer radiasi matahari ke pelat penyerap sepanjang hari, sehingga panas yang diterima pelat penyerap menjadi lebih tinggi. Panas dari pelat penyerap sebagian akan dikonveksikan dan diradiasikan ke kaca penutup yang selanjutnya akan dibuang ke lingkungan [22].

Pada gambar 4(a) terlihat temperatur kaca SWH.P pada laju aliran air 0.05 liter/menit sebesar 40,44 $^{\circ}C$, sedangkan SWH.S sebesar 37,73 $^{\circ}C$ dengan intensitas radiasi matahari 451,58 W/m^2 . Pada gambar 4(b) laju aliran air 0,15 liter/menit dengan SWH.P mempunyai temperatur kaca penutup tertinggi sebesar 40,61 $^{\circ}C$ dan SWH.S sebesar 39,16 $^{\circ}C$ pada intensitas radiasi matahari 600,37 W/m^2 . Pada gambar 4(c) laju aliran air 0,25 liter/menit dengan SWH.P mempunyai temperatur kaca penutup tertinggi sebesar 38,61 $^{\circ}C$ dan SWH.S sebesar 35,02 $^{\circ}C$ pada intensitas radiasi matahari 488,17 W/m^2 .



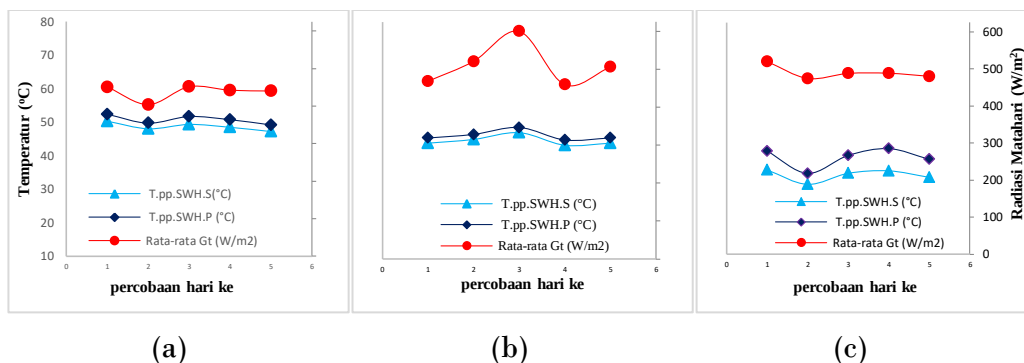
Gambar 4. Grafik temperatur kaca pada variasi laju aliran (a) 0,05, (b) 0,15 dan (c) 0,25 liter/menit.

3.3 Temperatur pelat penyerap ($T.pp$)

Pada gambar 5 terlihat secara keseluruhan variasi laju aliran, sistem SWH.P menunjukkan temperatur pelat penyerap lebih tinggi dibandingkan dengan SWH.S. Kondisi ini dipengaruhi oleh bentuk atau permukaan kaca pada sistem. Pada kaca piramida memiliki sudut yang memungkinkan radiasi matahari tertangkap dengan sempurna oleh

solar water heater, sehingga panas ditransfer dengan baik dari kaca ke pelat penyerap. Panas pada pelat penyerap akan ditransfer ke bawah secara konduksi dari permukaan atas menuju permukaan bawah pelat penyerap, selanjutnya panas dari permukaan bawah pelat penyerap ditransfer secara konveksi ke air dan sebagian lagi disimpan pada pelat penyerap [17].

Dari hasil penelitian diperoleh informasi bahwa laju aliran air semakin kecil, maka energi panas pelat penyerap yang ditransfer pada air lebih kecil, sehingga temperatur pelat penyerap relatif tinggi, begitupun sebaliknya [23]. Pada gambar 5(a) temperatur pelat penyerap dengan variasi laju aliran air 0,05 liter/menit pada SWH.P memperoleh nilai tertinggi sebesar 52,35°C, sedangkan SWH.S sebesar 50,29°C pada intensitas radiasi matahari 450,99 W/m². Pada gambar 5(b) temperatur pelat penyerap tampak laju aliran air 0,15 liter/menit menggunakan SWH.P lebih tinggi sebesar 38,84°C dibandingkan dengan SWH.S sebesar 47,31°C. Pada gambar 5(c) temperatur terlihat laju aliran air 0,25 liter/menit pelat penyerap dengan SWH.P sebesar 43,91°C dan SWH.S sebesar 53,19°C pada intensitas radiasi matahari 488,17 W/m². Rendahnya temperatur pelat penyerap pada laju aliran air yang semakin besar disebabkan oleh adanya perpindahan panas konveksi dari permukaan bawah pelat penyerap ke air yang lebih besar. Temperatur pelat penyerap rata-rata masih lebih tinggi dari temperatur lingkungan, hal demikian mengindikasikan panas masih tersimpan pada sistem *solar water heater*, sehingga air panas masih dapat dimanfaatkan pada malam dan pagi hari.



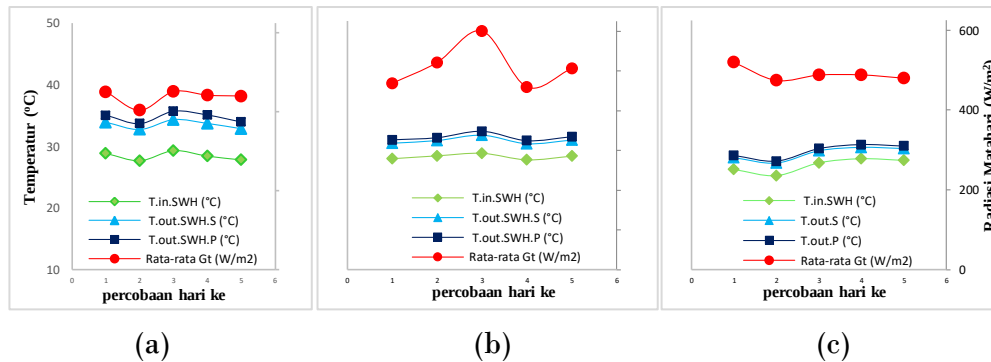
Gambar 5. Grafik temperatur pelat penyerap pada variasi laju aliran (a) 0,05, (b) 0,15 dan (c) 0,25 liter/menit.

3.4 Temperatur air keluar (T_{Out})

Berdasarkan gambar 6 terlihat SWH.P menghasilkan temperatur keluar ($T_{out.SWH.P}$) lebih tinggi dibandingkan dengan standar ($T_{out.SWH.S}$). Kondisi tersebut disebabkan oleh panas radiasi matahari yang dapat ditransmisikan melalui kaca penutup piramida menuju permukaan pelat penyerap yang terjadi sepanjang hari, sehingga berefek pada temperatur pelat penyerap. Temperatur pelat penyerap menggunakan kaca penutup piramida yang lebih tinggi akan berdampak positif pada panas yang ditransfer ke air secara konveksi, sehingga temperatur air output akan semakin tinggi [24].

Dari hasil pengujian *solar water heater* dengan variasi laju aliran diperoleh informasi bahwa laju aliran air yang semakin kecil, maka temperatur air output semakin besar. Kondisi ini disebabkan oleh air yang bergesekan dengan pelat penyerap bagian bawah mempunyai kesempatan/waktu yang lebih lama dalam berinteraksi secara konveksi. Dapat diinformasikan pada gambar 6(a) menggunakan laju aliran air 0.05 liter/menit SWH.P

menghasilkan temperatur air keluar tertinggi sebesar $35,70^{\circ}\text{C}$, sedangkan SWH.S sebesar $34,34^{\circ}\text{C}$ dengan intensitas radiasi matahari $451,58 \text{ W/m}^2$. Pada gambar 6(b) temperatur air keluar dengan variasi laju alir air $0,15 \text{ liter/menit}$ pada SWH.P lebih tinggi sebesar $32,28^{\circ}\text{C}$ dibandingkan dengan SWH.S sebesar $31,65^{\circ}\text{C}$ pada intensitas radiasi matahari $600,37 \text{ W/m}^2$. Sedangkan pada laju aliran air $0,25 \text{ liter/menit}$ temperatur air keluar SWH.P sebesar $30,07^{\circ}\text{C}$ dan menggunakan SWH.S sebesar $29,62^{\circ}\text{C}$ pada intensitas radiasi matahari $488,17 \text{ W/m}^2$.



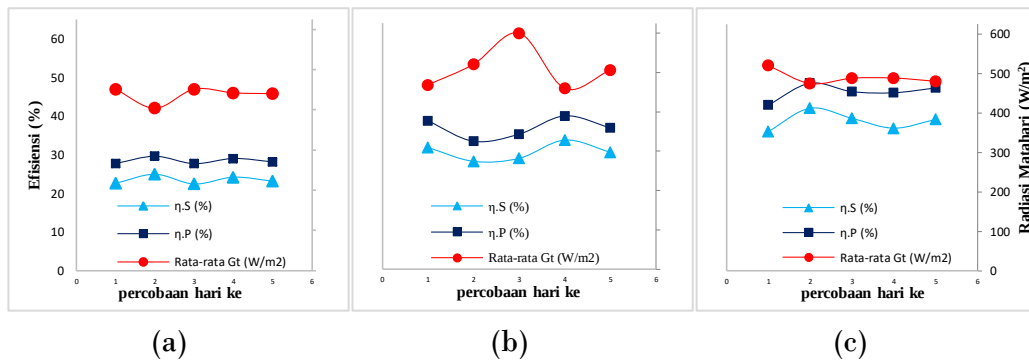
Gambar 6. Grafik temperatur air keluar pada variasi laju aliran (a) 0,05, (b) 0,15 dan (c) 0,25 liter/menit.

3.5 Efisiensi

Data dari hasil penelitian, kemudian dilakukan perhitungan efisiensi kinerja *solar water heater* dengan variasi laju aliran air $0,05$, $0,15$ dan $0,25 \text{ liter/menit}$ yang disajikan pada gambar 8. Pada gambar 8 terlihat bahwa efisiensi SWH.P lebih tinggi dibandingkan SWH.S. Kondisi demikian disebabkan oleh tingginya temperatur air output pada *solar water heater* menggunakan kaca penutup piramida, sehingga beda temperatur antara temperatur air output dan input semakin besar (ΔT). Tingginya temperatur air output pada *solar water heater* kaca penutup piramida disebabkan oleh tingginya temperatur pelat penyerap, sedangkan tingginya temperatur pelat penyerap disebabkan oleh kaca penutup piramida yang mampu mentransmisikan radiasi matahari sepanjang hari. Dengan demikian *solar water heater* menggunakan kaca penutup piramida dapat meningkatkan energi yang diterima pelat penyerap dan selanjutnya dapat meningkatkan efisiensi *solar water heater* [25] [26].

Efisiensi *solar water heater* juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran air [27] [28]. Kondisi ini disebabkan oleh kecepatan aliran air berfungsi sebagai pengali pada persamaan efisiensi *solar water heater*. Dengan demikian, semakin tinggi kecepatan aliran air, maka efisiensi *solar water heater* semakin meningkat.

Efisiensi SWH.P tertinggi masing-masing pada laju aliran air $0,05$, $0,15$ dan $0,25 \text{ liter/menit}$ adalah $29,58\%$ pada radiasi matahari rata-rata sebesar $403,90 \text{ W/m}^2$, $40,55\%$ pada radiasi matahari rata-rata sebesar $459,65 \text{ W/m}^2$ dan $49,41\%$ pada radiasi matahari rata-rata sebesar $474,33 \text{ W/m}^2$. Sedangkan efisiensi SWH.S tertinggi pada laju aliran air $0,05$, $0,15$ dan $0,25 \text{ liter/menit}$ masing-masing sebesar $24,91\%$ pada radiasi matahari rata-rata sebesar $403,90 \text{ W/m}^2$, $34,15\%$ pada radiasi matahari rata-rata sebesar $459,65 \text{ W/m}^2$ dan $42,82\%$ pada radiasi matahari rata-rata sebesar $474,33 \text{ W/m}^2$.



Gambar 7. Grafik efisiensi solar water heater pada variasi laju aliran (a) 0,05, (b) 0,15 dan (c) 0,25 liter/menit.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa menggunakan kaca penutup piramida pada solar water heater menghasilkan temperatur kaca, pelat penyerap dan air keluar lebih tinggi dibandingkan dengan solar water heater standar. Pengujian eksperimen menghasilkan peningkatan efisiensi SWH.P dibandingkan dengan SWH.S pada laju aliran air 0,05, 0,15 dan 0,25 liter/menit masing-masing sebesar 6,59%, 6,48% dan 4,67%. Temuan ini dapat dijadikan dasar untuk pengembangan desain SWH berbasis kaca penutup model piramida dikawasan tropis seperti Indonesia, khususnya untuk aplikasi rumah tangga dan industri perhotelan.

Referensi

- [1] C. A. Siregar and A. M. Siregar, "Studi Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Terhadap Alat Destilasi Air Laut Memanfaatkan Energi Matahari," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 2, no. 2, pp. 165–170, 2019.
- [2] R. Ridlo and A. Hakim, "Model Energi Indonesia , Tinjauan Potensi Energy Terbaru Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia : Literatur Review," vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [3] H. Ambarita, F. Siahaan, H. -, and H. . Sihombing, "Performansi Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Penambahan Sirip Pada Pipa Kolektor," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 57–64, 2020.
- [4] G. O. Prianto, A. Amaliyah, and ..., "Analisis Pemanfaatan Parafin Di Thermal Energy Storage Pada Solar Water Heater," *eProceedings ...*, vol. 8, no. 5, pp. 5605–5612, 2021.
- [5] I. Hutaaruk, H. Ambarita, and Eko Yohanes Setyawan, "Analisa Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Hybrid Dengan Variasi Sudut Kemiringan Kolektor 15o dan 30o Untuk Memanaskan 80 Liter Air," *J. Flywheel*, vol. 9, no. September, pp. 1–6, 2018.
- [6] D. Kusuma, M. Mustafa, and S. Sudarno, "Pengaruh Kolektor Pelat Gelombang Dengan Dua Kaca Penutup Terhadap Penambahan Panas Untuk Meningkatkan Kinerja Solar Water Heater," *J. PILAR Teknol. J. Ilm. Ilmu Ilmu Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 32–39, 2019.
- [7] Ismail N.R, "Pengaruh pelat penyerap ganda model gelombang dengan penambahan reflector terhadap kinerja solar water heater sederhana," *Proton*, vol. 03, no. 02, 2010.

-
- [8] S. Tia F., Muhammad F. R., Ocsirendi, "Water Heater Bertenaga Matahari Menggunakan Reflektor," in *Prosiding Seminar Nasional Kefarmasian Ke-3*, 2022, pp. 129–134.
 - [9] E. H. Bani-Hani, M. El Haj Assad, M. N. Almallahi, and M. Alshabi, "Experimental Study On Solar Hot Water Heating System," *2022 Adv. Sci. Eng. Technol. Int. Conf. ASET 2022*, no. May, 2022.
 - [10] Y. Gao, C. Gao, H. Xian, and X. Du, "Thermal Properties of Solar Collector Comprising Oscillating Heat Pipe in a Flat-Plate Structure and," 2018.
 - [11] Q. Liang *et al.*, "Highly transparent triboelectric nanogenerator for harvesting water-related energy reinforced by antireflection coating," *Sci. Rep.*, vol. 5, pp. 1–7, 2015.
 - [12] A. Khechekhouche, B. Benhaoua, A. M. Manokar, A. E. Kabeel, and R. Sathyamurthy, "Exploitation of an insulated air chamber as a glazed cover of a conventional solar still," *Heat Transf. - Asian Res.*, vol. 48, no. 5, pp. 1563–1574, 2019.
 - [13] H. M. Akbar, S. H. Danook, and K. Jalal, "The impact of a double glassed flat plate solar water heater collector performance The impact of a double glassed flat plate solar water heater collector performance," no. January, 2019.
 - [14] I. Budiman, I. M. Kartika, and A. Riza, "Ivan Budiman, I Made Kartika dan Abrar Riza," vol. 14, pp. 28–36, 2016.
 - [15] N. K. Caturwati, Y. Yusuf, I. Rosyadi, and A. F. Almarwan, "Comparison of the Effectiveness of 45° And 60° Cover Angle on the Production of Clean Water on Double Slope Solar Distillations (Perbandingan Efektivitas Sudut Penutup 45 0 Dan 60 0 Pada Double Slope Solar Destilasi Sebagai Penyedia Air Bersih)," *J. Renew. Energy Mech. E-ISSN*, vol. 03, no. 02, pp. 2714–6219, 2020.
 - [16] N. R. Ismail, A. Kurniawan, A. Farid, and N. Finahari, "Analisa Penambahan Lapisan Aspal Pada Permukaan Pelat Penyerap Untuk Meningkatkan Kinerja Solar Water Heater," *Surya Tek.*, vol. 8, no. 2, pp. 9–18, 2024.
 - [17] A. Burhanudin, N. R. Ismail, D. Hermawan, and A. Farid, "Identifikasi Penambahan Serbuk Tembaga Pada Pelat Penyerap Mortar Untuk Meningkatkan Kinerja Solar Water Heater," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 10, no. 1, pp. 91–102, 2025.
 - [18] M. Ridwan, N. R. Ismail, and D. Hermawan, "Pengaruh Kaca Penutup Double Slope dengan Piramida Menggunakan Pelat Penyerap Sirip terhadap Kinerja Solar Still," vol. 6, no. 2, pp. 107–116, 2023.
 - [19] R. Ikhsan, Sudjito Soeparman, and Mega Nur Sasongko, "Studi Kinerja Solar Water Heater Double Plate dengan Aliran Zig-Zag Beralur Balok," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 37–46, 2017.
 - [20] R. Dev, K. Tewari, and D. Singh, "Theoretical Analysis of Solar Water Heating System Made of Non-Metallic Materials," *MATTER Int. J. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 342–355, 2017.
 - [21] N. R. Ismail, P. Suwandono, D. Hermawan, F. D. Anggraeni, W. Malang, and M. Java, "Study On The Use Of Cooling Water As Input Water To Improve Double Slope Solar," no. 6, pp. 50–62, 2024.
 - [22] 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.
 - [23] M. R. Al-Mamun *et al.*, "State-of-the-art in solar water heating (SWH) systems for sustainable solar energy utilization: A comprehensive review," *Sol. Energy*, vol. 264,

-
- no. June, p. 111998, 2023.
- [24] Jalaluddin, R. Tarakka, M. Syahid, M. Hasan Basri, and M. A. I. Rahmadhani, "Performance investigation of solar water heating system using flat-plate absorber integrated with thermal storage," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 17, no. May, 2023.
- [25] E. Vengadesan and K. Gnanasekaran, "Comprehensive performance analysis of a flat plate solar water heating system featuring a dual-inlet modified absorber," *Discov. Sustain.*, vol. 6, no. 1, 2025.
- [26] O. Nurhilal, N. M. Farizan, F. Rahman, and S. Setianto, "Enhancing water heater efficiency with aluminum and zinc-coated steel systems for energy solutions," *Heliyon*, vol. 10, no. 16, p. e35682, 2024.
- [27] P. Víg, I. Seres, and P. Vladár, "Improving efficiency of domestic solar thermal systems by a flow control," *Sol. Energy*, vol. 230, no. November 2021, pp. 779–790, 2021.
- [28] F. Eze, M. Egbo, U. J. Anuta, O.-B. R. Ntiriwaa, J. Ogola, and J. Mwabora, "A review on solar water heating technology: Impacts of parameters and techno-economic studies," *Bull. Natl. Res. Cent.*, vol. 48, no. 1, pp. 1–22, 2024.
-



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