Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Online) 3025-2598 |

Artikel Penelitian

STUDI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN KOMPOSIT AL_2O_3–TIO_2 SEBAGAI ABSORBER PADA KOLEKTOR SURYA

Iskandar Ridwan [a], Endri Yani [a], Adela Syafera [a]

[a] *Universitas Andalas, Padang,25166, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 23 Juni 2025
Revisi Akhir: 28 Juni 2025
Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2025

KATA KUNCI

Energi Surya
Kolektor Surya
Absorber
Aluminium Oksida
Titanium Dioksida

KORESPONDENSI

E-mail: endriyani@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

Solar energy is one of the renewable energy sources that has great potential to be developed to reduce dependence on fossil fuels and minimize environmental impact. Solar collectors utilize the sunlight received by absorbing it and converting it into thermal energy that can be used for industrial and household needs. The absorber material in the solar collector has an important role in absorbing solar radiation and converting it into thermal energy. This study aims to evaluate the effect of using aluminium oxide-titanium dioxide mixed absorber on the efficiency and performance of solar collectors. Three solar collectors were tested, namely collectors with 4kg aluminium oxide-titanium dioxide mixture, 3kg aluminium oxide-titanium dioxide mixture, and collectors without additional absorber material as control collectors. The observed parameters include output temperature, absorber temperature, and collector thermal efficiency. The results showed that the collector with a 4kg mixture produced an average output temperature of 67.63℃ and an efficiency of 11.37%, while the 3kg mixture reached 62℃ with an efficiency of 10.58%. The collector without an absorber only reached 48℃ with an efficiency of 6.46%. These results show that the use of aluminium oxide-titanium dioxide blend absorber significantly increases the output temperature, absorber temperature, and thermal efficiency of the solar collector. Increasing the mass of the blend in the absorber material contributes to the improved performance of the solar collector

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan adalah salah satu sumber energi berkelanjutan yang paling vital untuk masa depan. Radiasi matahari yang mencapai bumi dalam satu jam melebihi total konsumsi energi manusia dalam satu tahun [1]. Mengkonversi energi panas matahari menjadi bentuk yang bermanfaat bagi kebutuhan manusia merupakan tantangan utama bagi para ilmuwan [2]. Meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan lingkungan dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil, menjadikan pemanfaatan energi surya sangat relevan. Teknologi kolektor surya adalah salah satu cara untuk mengkonversi energi matahari diubah menjadi energi panas yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk pemanas air, pemanas ruangan, dan pembangkit listrik tenaga surya.

Kolektor surya terdiri dari beberapa komponen utama, salah satunya adalah absorber. Absorber berfungsi untuk menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi panas. Kinerja kolektor surya sangat bergantung pada efisiensi absorber dalam menangkap dan mengkonversi

https://doi.org/10.25077/ inomet.3.1.22-26.2025

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

energi surya [3]. Material absorber konvensional yang umum digunakan seringkali memiliki keterbatasan yang signifikan. Misalnya cat hitam, cenderung mengalami degradasi termal ketika terpapar sinar matahari dalam jangka waktu lama, yang mengakibatkan penurunan efisiensi penyerapan energi. Selain itu, material logam konvensional memiliki reflektivitas tinggi, yang berarti sebagian besar sinar matahari dipantulkan kembali daripada diserap, sehingga mengurangi jumlah energi yang dapat diubah menjadi panas [4]. Oleh karena itu, pemilihan material absorber yang tepat sangat penting untuk dapat meningkatkan efisiensi dan performa keseluruhan kolektor surya.

Titanium dioksida (TiO_2) adalah material yang memiliki sifat optik dan termal yang luar biasa. TiO_2 dikenal memiliki indeks refraksi yang tinggi dan mampu menyerap radiasi ultraviolet dengan efektif [4]. TiO_2 merupakan oksida logam yang terjadi secara alami ketika titanium bereaksi dengan oksigen di udara yang memiliki berbagai sifat menarik dan bermanfaat seperti stabilitas termal, dan potensi fotokatalisis [5]. TiO_2 mampu menguraikan polutan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti air dan karbon dioksida. Selain itu, TiO_2 juga memiliki stabilitas termal dan kimia yang baik, menjadikannya material yang tahan lama dalam aplikasi energi surya, serta memiliki sifat tahan korosi, tidak beracun, dan konduktivitas listrik yang rendah [6]. Penelitian sebelumnya oleh Diah Hari Kusumawati dan Ayu Rachmawati yang menggunakan TiO_2 sebagai filler pada komposit epoksi dan menemukan bahwa penambahan TiO_2 dapat meningkatkan kemampuan transmitansi dan absorbansi gelombang ultraviolet [4]. Hal ini menunjukkan bahwa TiO_2 dapat meningkatkan efisiensi konversi energi dalam berbagai aplikasi fotovoltaik dan fotokatalitik.

Selain TiO_2, Aluminium Oksida (Al_2O_3) juga memiliki potensi besar sebagai material absorber. Al_2O_3 dikenal memiliki konduktivitas termal yang tinggi, sehingga mampu meningkatkan transfer panas di dalam sistem kolektor surya [7]. Aluminium oksida merupakan oksida amfoter yang dikenal sebagai alumina dan ditemukan dalam banyak struktur kristal. Aluminium oksida tahan terhadap korosi, tidak beracun, memiliki stabilitas termal yang baik, sehingga menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi di lingkungan yang terpapar sinar matahari langsung [8]. Selain itu, aluminium oksida memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan ketahanan listrik yang baik [9]. Namun, aplikasi Al_2O_3 dan TiO_2 sebagai absorber dalam kolektor surya masih memerlukan eksplorasi lebih lanjut untuk memahami sejauh mana material ini dapat meningkatkan kinerja kolektor surya.

Penelitian ini berfokus pada kombinasi TiO_2 dan Al_2O_3 sebagai material absorber dalam kolektor surya. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi pengaruh dari kombinasi TiO_2 dan Al_2O_3 terhadap efisiensi penyerapan energi matahari dan kinerja pada kolektor surya. Dengan meningkatkan efisiensi kolektor surya, diharapkan dapat memaksimalkan penggunaan energi surya dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang tidak ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi kolektor surya yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini berupaya untuk menjawab tantangan yang ada dalam pengembangan teknologi kolektor surya dengan fokus pada penggunaan material campuran Al_2O_3 - TiO_2 sebagai material absorber. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi energi surya dan mendukung upaya global dalam mempromosikan energi terbarukan sebagai bagian dari solusi jangka panjang untuk masalah energi dan lingkungan.

1.1 Energi Surya

Energi surya terwujud dalam bentuk bola gas panas, di mana lapisan terluar disebut fotosfer, yang memancarkan spektrum radiasi secara kontinu. Ketika bumi berputar pada sumbunya, matahari tetap berada pada posisinya. Bersama-sama, bumi

dan matahari bergerak mengelilingi satu sama lain dalam orbit elips yang hampir berbentuk lingkaran [10]. Ilustrasi energi surya yang mengenai bumi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Energi surya [11]

Radiasi surya adalah bentuk radiasi termal dengan distribusi panjang gelombang tertentu, terutama terfokus pada panjang gelombang pendek, berbeda dengan radiasi termal yang memiliki panjang gelombang lebih panjang. Intensitas radiasi surya sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer. Di luar atmosfer, saat bumi berada pada jarak rata-rata dari matahari, intensitas radiasi yang tersedia adalah sekitar 1353 W/m^2, yang telah diukur oleh pesawat antariksa dan dijadikan standar oleh NASA. Namun, setelah melalui penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer, intensitas ini dapat dikurangi sekitar ± 15% W/m² sebelum mencapai permukaan bumi [12].

1.2 Kolektor Surya

Kolektor surya merupakan alat yang digunakan untuk menangkap radiasi matahari dengan tujuan menghasilkan energi panas. Dalam kolektor surya, sinar matahari ditangkap oleh sebuah absorber, di mana sebagian energinya diserap sedangkan yang lainnya dipantulkan kembali ke lingkungan. Panas yang diserap oleh absorber kemudian diubah menjadi energi panas yang dapat dialirkan ke dalam kolektor surya untuk berbagai aplikasi. Kolektor surya umumnya beroperasi pada suhu di bawah 150°C dan mampu memproses panjang gelombang radiasi matahari dalam rentang 0,29 hingga 25 µm [2].

1.3 Material Campuran Alumunium Oksida – Titanium Dioksida

Campuran material adalah material yang terdiri dari dua atau lebih material berbeda yang dikombinasikan untuk meningkatkan sifat tertentu, seperti kekuatan mekanik, ketahanan termal, atau konduktivitas termal, atau konduktivitas listrik. Karakteristik campuran material dipengaruhi oleh komposisi, struktur, distribusi material, serta interaksi antar komponennya [16]. Aluminium bubuk memiliki potensi besar sebagai penyerap panas pada kolektor surya karena sifat termal dan optiknya yang luar biasa. Penggunaan aluminium pada kolektor surya, terutama di pelat penyerap dan komponen strukturnya, menawarkan beberapa keunggulan seperti bobot yang ringan, konduktivitas termal yang tinggi, serta ketahanan korosi. Hal ini memungkinkan aluminium menyerap panas lebih efisien, sehingga meningkatkan kinerja kolektor dalam mengubah energi matahari menjadi panas [17]. Titanium dioksida, yang juga dikenal sebagai titanium (IV) oksida, adalah senyawa oksida dari titanium dengan formula molekul TiO_2. Material semikonduktor logam oksida ini memiliki berat molekul sebesar 79,90 g/mol dan densitas sekitar 4,26 g/cm³. Ukuran partikel TiO_2 berkisar 10 hingga 50 nm, mudah untuk disisipkan ke dalam bahan lain dan dapat mempercepat proses reaksi karena respon terhadap cahaya. Bentuk titanium dioksida dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Titanium dioksida [6]

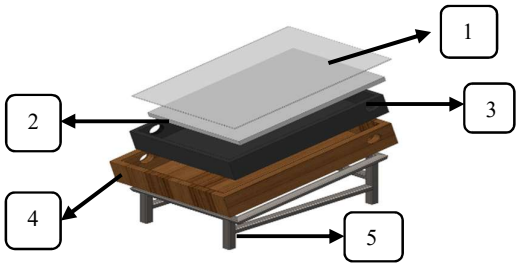
Campuran aluminium oksida (Al_2O_3) dan titanium dioksida (TiO_2) sebagai absorber pada kolektor surya menawarkan pendekatan inovatif untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari. Aluminium oksida berperan sebagai substrat karena sifat reflektifnya yang tinggi dan konduktivitas termalnya yang baik, memungkinkan transfer panas lebih cepat. Selain itu, permukaan aluminium oksida yang diberi tekstur dapat menangkap radiasi matahari dengan lebih efektif.

 https://doi.org/10.25077/ inomet.3.1.22-28.2025

Lapisan titanium dioksida (TiO_2) pada aluminium oksida berfungsi untuk meningkatkan kemampuan menyerap sinar UV dan meningkatkan konversi energi matahari menjadi panas. Kombinasi kedua material ini memiliki ketahanan tinggi terhadap degradasi lingkungan, sehingga menjadikannya pilihan yang tahan lama untuk aplikasi surya jangka panjang.

2. METODOLOGI

Kolektor yang digunakan adalah jenis kolektor surya pasif tipe tidak langsung, dirancang dengan ukuran 1255 mm x 648 mm, dan akan dipasang dengan sudut kemiringan 45º untuk memaksimalkan penyerapan radiasi matahari. Panas mengalir dari bagian bawah kolektor menuju bagian atas kolektor. Absorber yang digunakan pada kolektor surya ini merupakan campuran berbentuk bubuk dari aluminium oksida dan titanium dioksida. Pemilihan bahan berbentuk bubuk didasarkan pada kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi penyerapan panas, karena bentuk partikel yang halus mampu memperluas area kontak dengan permukaan kolektor dan meningkatkan interaksi dengan sinar matahari. Campuran material ini kemudian diaplikasikan pada permukaan kolektor surya dalam variasi konsentrasi tertentu, dengan tujuan untuk mengevaluasi efeknya terhadap efisiensi dan penyerapan panas pada kolektor surya. Jumlah aluminium oksida dan titanium dioksida yang dijadikan absorber kolektor surya mempunyai ketebalan 0,0015 m. Skema peralatan pengujian yang digunakan ditampilkan pada Gambar 3.



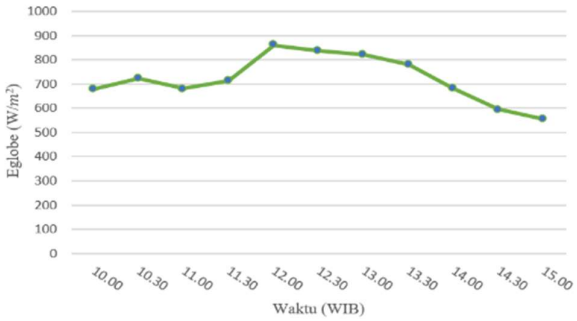
Gambar 3. Kolektor Surya

Keterangan :
1. Cover
2. Absorber
3. Insulator
4. Kerangka Luar
5. Tempat Peletakan Kolektor

Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh penambahan campuran aluminium oksida-titanium dioksida terhadap temperatur absorber. Untuk itu digunakan 3 buah kolektor surya dengan 3 variasi absorber. Kolektor 1 menggunakan campuran aluminium oksida-titanium dioksida sebanyak 4 kg pada absorbernya. Kolektor 2 mengaplikasikan campuran aluminium-titanium dioksida sebesar 3 kg, dan pada kolektor 3 tanpa penambahan campuran aluminium oksida-titanium dioksida atau hanya digunakan sebagai kolektor pembanding.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses pengujian yang dilakukan pada tanggal 23 September 2024, diperoleh data pengukuran intensitas cahaya matahari. Data yang didapat kemudian digunakan untuk melihat pengaruh waktu terhadap intensitas cahaya matahari, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.

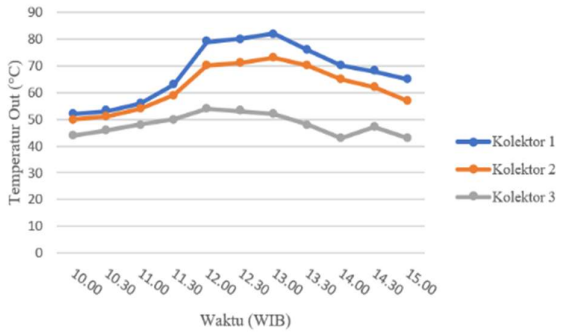


Gambar 4. Pengaruh waktu terhadap intensitas cahaya matahari

Dari gambar dapat dilihat bahwa intensitas cahaya matahari meningkat secara bertahap mulai dari pukul 10.00 hingga mencapai puncaknya sekitar pukul 12.00-13.00. Hal ini terjadi, dikarenakan posisi matahari yang semakin tinggi, sehingga radiasi matahari yang diterima semakin besar. Selama masa pengujian, intensitas cahaya matahari bervariasi yaitu dari 678,03 W/m² hingga 859,75 W/m². Intensitas cahaya matahari berada pada puncaknya yaitu pada pukul 12.00 dengan nilai

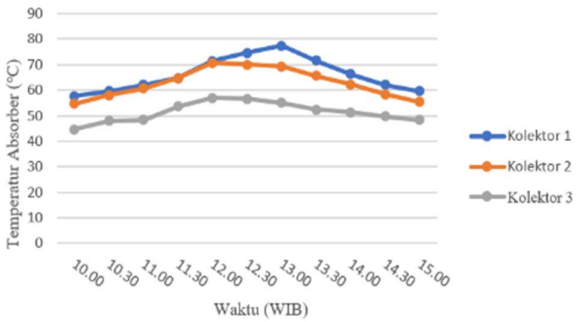
859,75 W/m², dan setelah pukul 12.30 intensitas cahaya matahari mulai menurun secara bertahap hingga akhir pengujian pukul 15.00. Penurunan ini disebabkan karena radiasi yang diterima oleh permukaan kolektor surya tidak tegak lurus lagi terhadap permukaan kolektor.

Untuk mengetahui hubungan antara waktu dan temperatur keluaran kolektor, maka dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat bahwa secara keseluruhan temperatur naik sepanjang waktu, dan temperatur keluaran tertinggi terletak pada kolektor surya 1 yang telah ditambahkan absorber dengan material campuran yaitu aluminium oksida-titanium dioksida sebesar 4 kg. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan material absorber, akan membuat kolektor surya lebih efektif dalam melakukan penyerapan panas. Seiring dengan perubahan waktu, nilai penyerapan panas menurun, hal ini ditunjukkan dengan nilai temperatur semakin menurun seiring dengan perubahan arah matahari yang sudah tidak berada tepat di atas kolektor lagi.



Gambar 5. Perbandingan temperatur keluaran kolektor

Untuk mengetahui pengaruh penambahan Al_2O_3 dan TiO_2 pada absorber terhadap temperatur absorber dapat dilihat pada Gambar 6. Pada dasarnya, saat temperatur keluaran kolektor meningkat disebabkan karena temperatur absorber yang mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena absorber berfungsi untuk menyalurkan panas ke fluida kerja dari kolektor. Berdasarkan data yang didapatkan, menunjukkan bahwa pada kolektor 1 memiliki temperatur absorber tertinggi dibandingkan dengan temperatur pada kolektor 2 dan kolektor 3. Hal ini disebabkan karena pada kolektor 1 diaplikasikan material campuran aluminium oksida-titanium dioksida sebesar 4 kg, sedangkan pada kolektor 2 pengaplikasian campuran aluminium oksida-titanium dioksida sebesar 3 kg, dan pada kolektor 3 tanpa menambahkan material campuran aluminium oksida-titanium dioksida. Dari data pengujian yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa kolektor dengan tambahan material campuran aluminium oksida-titanium dioksida lebih efektif dalam melakukan penyerapan panas, sehingga menghasilkan nilai temperatur keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor 2 yang lebih rendah massa campurannya dan kolektor 3 yang tanpa penambahan campuran aluminium oksida-titanium dioksida.

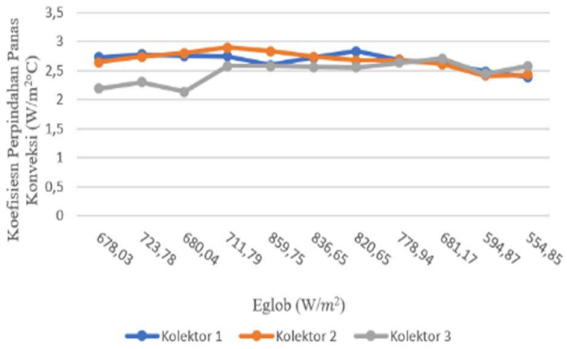


Gambar 6. Perbandingan temperatur absorber kolektor

Salah satu aspek yang mempengaruhi kemampuan kolektor surya dalam menyerap panas adalah nilai koefisien perpindahan panas konvektif. Seberapa besar nilai koefisien perpindahan panas konveksif dapat dilihat dari seberapa efektif kolektor surya dalam menyerap panas. Perbandingan koefisien perpindahan panas konveksif dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada kolektor 1 memiliki nilai koefisien perpindahan panas konveksif yang lebih tinggi di awal pengujian yaitu berkisar 2,72 W/m² °C dan menurun seiring dengan berkurangnya intensitas radiasi matahari. Kolektor 2 juga menunjukkan hal yang tidak jauh berbeda dengan kolektor 1, dengan nilai yang sedikit lebih rendah tetapi masih relatif tinggi di awal. Sedangkan pada kolektor 3 tanpa tambahan material absorber, menunjukkan nilai

 https://doi.org/10.25077/ inomet.3.1.22-28.2025

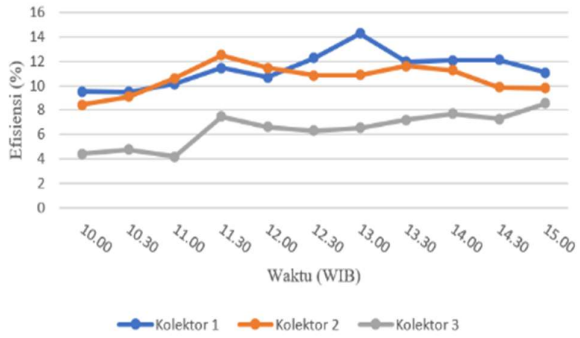
koefisien perpindahan panas konveksif yang lebih rendah dibandingkan dengan kolektor yang lainnya. Secara umum, semua kolektor mengalami penurunan koefisien perpindahan panas konveksif seiring dengan menurunnya intensitas radiasi matahari sehingga proses perpindahan panas melalui konveksi menjadi tidak maksimal. Selain itu, terlihat bahwa kolektor dengan penambahan material campuran pada absorber juga berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan menyerap panas dan mentransfer panas secara konveksi. Perpindahan panas melalui konveksi semakin berkurang ketika radiasi yang diterima oleh kolektor surya semakin menurun.



Gambar 7. Perbandingan koefisien perpindahan panas konveksif kolektor

Nilai efisiensi menunjukkan seberapa efektif kolektor surya dalam memanfaatkan radiasi yang dipancarkan oleh matahari. Perbandingan nilai efisiensi pada masing-masing kolektor dapat dilihat pada Gambar 8. Pada Gambar 8 terlihat bahwa kolektor 1 memiliki nilai efisiensi tertinggi dibandingkan dengan kolektor lainnya. Efisiensi ini berfluktuasi, dengan puncak efisiensi terbesar terjadi pada pukul 13.00 dan kemudian perlahan menurun. Kolektor 2 menunjukkan performa yang cukup stabil, meskipun nilai efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan kolektor 1. Sedangkan pada kolektor 3 menunjukkan nilai efisiensi yang lebih rendah daripada kolektor 1 dan kolektor 2. Penurunan efisiensi setelah pukul 12.30 pada kolektor 1 dan kolektor 2 disebabkan oleh berkurangnya intensitas matahari dan peningkatan kerugian panas ke lingkungan melalui konveksi serta radiasi akibat temperatur absorber yang tinggi. Semua kolektor menunjukkan peningkatan efisiensi pada pagi hari, dengan puncak efisiensi berada pada pukul 11.30-13.00 ketika intensitas radiasi matahari berada pada titik tertinggi. Setelah itu, efisiensi mulai menurun seiring berjalannya waktu hingga akhir pengujian pada pukul 15.00. Penurunan ini menunjukkan bahwa efisiensi kolektor sangat bergantung pada jumlah radiasi yang diterima.

.



Gambar 8. Perbandingan efisiensi kolektor

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa penambahan material campuran aluminium oksida-titanium dioksida pada absorber mampu meningkatkan kemampuan absorber dalam menerima dan menyimpan panas, hal ini dapat dilihat dari data-data berikut:

1. Rata-rata temperatur keluaran (T_{out}) dari kolektor 1 dengan absorber campuran aluminium oksida-titanium dioksida sebanyak 4 kg adalah 67,63°C dan tertinggi 82°C, kolektor 2 dengan absorber aluminium oksida-titanium dioksida sebanyak 3 kg sebesar 62°C dan tertinggi 73°C, sedangkan pada kolektor 3 tanpa tambahan material absorber rata-rata temperatur keluaran berkisar 48°C dan tertinggi 54°C.
2. Temperatur absorber (T_{abs}) rata-rata dari setiap kolektor yaitu, kolektor 1 66,09°C, kolektor 2 62,69°C, dan kolektor 3 berkisar 51,36°C.
3. Kolektor 1 dengan absorber campuran aluminium oksida-titanium dioksida 4 kg memiliki efisiensi rata-rata 11,37%, kolektor 2 dengan absorber campuran aluminium oksida-titanium dioksida 3 kg memiliki efisiensi rata-rata yang tidak jauh berbeda dengan kolektor 1 yaitu 10,57%, sedangkan kolektor 3 tanpa

tambahan material absorber memiliki nilai efisiensi rata-rata 6,46%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. T. J. Suthahar *et al.*, "Experimental Investigations on the Performance of Thermosyphon Solar Flat Plate Collector using TiO2 Nanofluids," *J Nanomater*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/6837264.

[2] J. Allan, Z. Dehouche, S. Stankovic, and L. Mauricette, "Performance testing of thermal and photovoltaic thermal solar collectors," *Energy Sci Eng*, vol. 3, no. 4, pp. 310–326, Jul. 2015, doi: 10.1002/ese3.75.

[3] A. Syuhada, M. I. Maulana, and A. Shalahuddin, "Pengaruh Material Absorber Terhadap Temperatur Keluaran Kolektor Surya," *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, vol. 8, no. 2, 2018.

[4] D. Hari Kusumawati, D. Ayu Rachmawati Jurusan Fisika, and F. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, "Karakteristik Transmitansi dan Absorbansi Komposit Epoksi/TiO 2 sebagai Bahan Anti Ultraviolet," vol. 5, no. 2, pp. 47–53, 2017.

[5] T. Ayorinde and C. M. Sayes, "An updated review of industrially relevant titanium dioxide and its environmental health effects," *Journal of Hazardous Materials Letters*, vol. 4, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.hazl.2023.100085.

[6] A. D. Racovita, "Titanium Dioxide: Structure, Impact, and Toxicity," May 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/ijerph19095681.

[7] S. Ünvar, T. Menlik, A. Sözen, and H. M. Ali, "Improvement of Heat Pipe Solar Collector Thermal Efficiency Using Al2O3/Water and TiO2/Water Nanofluids," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/5546508.

[8] H. K. Hami, R. F. Abbas, E. M. Eltayef, and N. I. Mahdi, "Applications of aluminum oxide and nano aluminum oxide as adsorbents: review," *Samarra Journal of Pure and Applied Science*, vol. 2, no. 2, pp. 19–32, Sep. 2021, doi: 10.54153/sjpas.2020.v2i2.109.

[9] D. Gustaman Syarif, D. Izak Rudyardjo, D. C. Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Kampus Mulyorejo, J. Timur, and P. Sains dan Teknologi Nuklir Terapan Badan Tenaga Nuklir Nasional, "Synthesize and Characterization of Aluminum Oxide (Al 2 O 3) Nanoparticle from Aluminum Waste for Nano fluid Application," 2020. [Online]. Available: https://e-journal.unair.ac.id/IAPL

[10] W. Viqi Verdika, Q. Ikhwanul, and R. Gatot, "Analisa Performa Kolektor Surya dengan Menggunakan Media Batu sebagai Absorber," Jurnal V-Mac, vol 6, no. 1:12-14,2021.

[11] S. Suwasti, "Pengaruh Heat Absorber Pada Kolektor Destilasi Surya dengan Kondisi Vakum 1),"2014.

[12] M. Nasution, "Perancangan Kolektor Surya Pemanas Air untuk Kebutuhan Rumah Tangga 600 L/Jam," Cetak.

[13] J.Richardson, https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/solar-thermal-information/the-different-types-of-solar-thermal-panel-collectors. (diakses 28 Mei 2024)

[14] Amrizal, "Karakteristik Material Absorber Kolektor Surya Pelat Datar." Jurnal Material dan Energi Indonesia, 94 (2012) 244-250.

[15] N. Rianda "Analisis Termal Kolektor Surya Tipe Plat Datar dengan Fluida Kerja Etanol 96% Pada Sistem Solar Water Heater," Jurnal Teknik Mesin, vol. 6, no. 4, 2017.

[16] A. K. Sharma, R. Bhandari, A. Aherwar, and R. Rimašauskiene, "Matrix materials used in composites: A comprehensive study," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 1559–1562. doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.086.

[17] A. Farzaneh, M. Mohammdi, Z. Ahmad, and I. Ahm, "Aluminium Alloys in Solar Power – Benefits and Limitations," in *Aluminium Alloys - New Trends in Fabrication and Applications*, InTech, 2012. doi: 10.5772/54721.