Home: https://ejurnalunsam.id/index.php/jurutera

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

ENHANCING THERMAL EFFICIENCY OF A SOLAR WATER HEATING SYSTEM WITH A PARABOLIC TROUGH COLLECTOR

Rahmat Sukuria Mungkur[1], Hamdani Umar[2], Nazaruddin A. Abdullah[3], Fazri Amir[4]

[1,2,3,4] *Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 25 November 2024
Direvisi dari 27 Desember 2024
Diterima 29 Desember 2024
Dipublikasi 30 Desember 2024

***Keywoard's*:**
Solar water heater, Parabolic trough collector, Renewable energy, Thermal efficiency, Sensible heat storage.

DOI:
doi.org/10.55377/jurutera.v11i02.11033

A B S T R A K

Peningkatan kebutuhan energi global dan dampak lingkungan dari konsumsi bahan bakar fosil mendorong perlunya solusi energi terbarukan. Penelitian ini mengevaluasi kinerja sistem pemanas air tenaga surya (solar water heater, SWH) yang terintegrasi dengan kolektor palung parabola (parabolic trough collector, PTC) untuk meningkatkan efisiensi termal. Sistem ini menggunakan receiver berbentuk persegi yang dilengkapi penyimpanan panas sensibel, lapisan insulasi, serta material dengan konduktivitas termal tinggi untuk mengoptimalkan perpindahan panas. Pengujian dilakukan secara eksperimental dalam kondisi radiasi matahari nyata, dengan pengukuran temperatur air dan intensitas radiasi menggunakan termokopel dan piranometer. Temperatur air maksimum yang dicapai adalah 84 °C pada intensitas radiasi 1.112 W/m², dengan efisiensi termal tertinggi sebesar 35%. Meskipun efisiensi rata-rata pada hari pengujian berikutnya lebih rendah, nilai efisiensi menunjukkan kestabilan yang lebih tinggi akibat radiasi matahari yang lebih konsisten. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi PTC mampu meningkatkan performa termal dan keandalan sistem pemanas air tenaga surya, sehingga berpotensi menjadi solusi energi terbarukan untuk kebutuhan domestik.

A B S T R A C T

The increasing global energy demand and the environmental impacts of fossil fuel consumption highlight the need for renewable energy solutions. This study evaluates the performance of a solar water heating system integrated with a parabolic trough collector (PTC) designed to enhance thermal efficiency. The system utilizes a square-shaped receiver with sensible heat storage, insulated layers, and high thermal conductivity materials to optimize heat transfer. Experimental tests were conducted under real solar conditions using thermocouples and pyranometers to measure water temperature and solar irradiance. The maximum water temperature reached was 84 °C at a solar irradiance of 1,112 W/m², with a peak thermal efficiency of 35%. Although the average efficiency on subsequent testing days was lower, it exhibited greater stability due to consistent solar radiation. These results indicate that integrating a PTC significantly improves the thermal performance and reliability of solar water heating systems, making it a viable option for domestic renewable energy applications.

© 2024 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

Alamat e-mail koresponden : hamdani@unsam.ac.id
© 2024 ISSN. 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

1. Pendahuluan

Saat ini, kebutuhan energi global telah menjadi masalah serius. Sebagian besar energi yang tersedia saat ini berasal dari energi fosil, yang eksploitasi berlebihan telah menyebabkan menipisnya cadangan energi dunia(1). Energi fosil adalah sumber daya tidak terbarukan yang membutuhkan waktu jutaan tahun untuk terbentuk kembali dan memiliki dampak buruk terhadap lingkungan, termasuk emisi karbon yang tinggi(2),(3). Sebagai alternatif, energi terbarukan, seperti energi angin, aliran air, panas bumi, biomassa, dan energi matahari, telah berkembang pesat(4),(5).

Energi terbarukan kini mendapat perhatian besar dari organisasi internasional seperti International Energy Agency (IEA) dan International Renewable Energy Agency (IRENA) karena perannya dalam mendukung keberlanjutan dan mitigasi perubahan iklim(6),(7),(8). Saat ini, energi terbarukan menyumbang sekitar 30% dari produksi listrik dunia dan diperkirakan meningkat menjadi 35% pada 2025 dan 46% pada 2030, dengan dominasi energi surya dan angin. Dalam sektor transportasi, energi terbarukan menyumbang sekitar 6% dari kebutuhan energi global, terutama melalui biofuel dan kendaraan listrik yang menggunakan listrik dari sumber terbarukan(9), (10).

Selain untuk pembangkit listrik dan transportasi, energi terbarukan juga dapat digunakan untuk aplikasi sederhana seperti pemanasan air(11),(12),(13). Kebutuhan akan air panas, terutama di bangunan perumahan dan komersial, terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk(14). Teknologi solar water heater (SWH) yang memanfaatkan energi matahari menjadi solusi potensial untuk menggantikan pemanas berbasis energi fosil. Pada umumnya, SWH bekerja dengan cara mengumpulkan energi matahari melalui kolektor yang memanfaatkan efek rumah kaca(15). Namun, metode ini memiliki keterbatasan, seperti kesulitan dalam mengumpulkan energi matahari secara efektif, di mana objek berupa air harus diratakan sesuai luas permukaan kaca agar dapat menerima seluruh cahaya matahari secara merata. Sebagai solusi, teknologi tenaga surya terkonsentrasi (Concentrated Solar Power, CSP) dapat digunakan(16). Teknologi ini memungkinkan panas dikumpulkan ke satu titik, sehingga massa air yang kecil dapat dipanaskan dengan lebih efisien menggunakan energi matahari yang diterima oleh kolektor dengan luas yang besar.

Teknologi tenaga surya terkonsentrasi (Concentrated Solar Power, CSP) adalah salah satu inovasi yang memusatkan energi matahari ke satu titik untuk menghasilkan panas tinggi. Jenis-jenis CSP termasuk palung parabola, parabola piringan, menara surya, dan lensa Fresnel. Dari semua teknologi ini, palung parabola adalah yang paling banyak digunakan, dengan aplikasi yang mencakup hingga 10% dari total penggunaan CSP untuk pembangkit listrik dan pemanas lainnya(17). Teknologi ini sangat cocok untuk memanaskan air karena dapat memusatkan energi surya pada pipa aliran air, memungkinkan pemanasan dalam jumlah besar secara efisien.

Penggunaan teknologi tenaga surya terkonsentrasi, khususnya palung parabola, telah dianalisis oleh banyak ahli. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Bilal Lamrani et al. (2020) memodelkan dan menganalisis penggunaan palung parabola untuk solar water heater (SWH) pada bangunan residensial yang dilengkapi penyimpanan panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur air dapat dipanaskan dari 36°C hingga 85°C(18). Pengujian eksperimental lainnya dilakukan oleh Ridha Charfi et al. (2021), yang menunjukkan bahwa palung parabola dengan luas 2,88 m² mampu memanaskan air hingga temperatur maksimum 179°C(19). Sementara itu, penelitian oleh Mostafa Abdel-Rady Abu-Zeid et al. (2024) menggabungkan palung parabola dengan nanofluida untuk mempercepat pemanasan air pada receiver, menghasilkan temperatur air keluar hingga 70°C menggunakan parabola seluas 1,5 m²(20).

Meskipun teknologi ini memiliki banyak potensi, beberapa permasalahan utama tetap ada, seperti tingginya heat loss selama operasi dan keterbatasan dalam penyimpanan energi, yang menyebabkan teknologi ini tidak efektif saat malam hari atau ketika intensitas matahari menurun. Sebagai solusi, penelitian ini mengusulkan penggunaan receiver dengan penyimpanan panas sensibel di dalamnya untuk mengurangi heat loss. Selain itu, permukaan receiver akan dilapisi material dengan konduktivitas termal tinggi, seperti aluminium, untuk memastikan efisiensi transfer panas yang optimal. Tujuan utama penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi SWH dengan memanfaatkan teknologi tenaga surya berupa palung parabola yang dirancang secara spesifik untuk kebutuhan ini.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan beberapa alat ukur untuk memantau parameter target yang hendak dicapai. Penelitian dapat mana pengujian ditargetkan untuk menghasilkan temperatur output minimal sebesar 80 °C. Lokasi penelitian berada di lapangan laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Samudra, dengan koordinat [sebutkan koordinat, misalnya: -5.5585, 95.3252]. Penelitian dijadwalkan berlangsung pada bulan Agustus 2023. Selama proses penelitian, data hasil yang mencapai

© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

kondisi optimum akan digunakan sebagai bahan analisis utama dalam penyusunan paper ini.

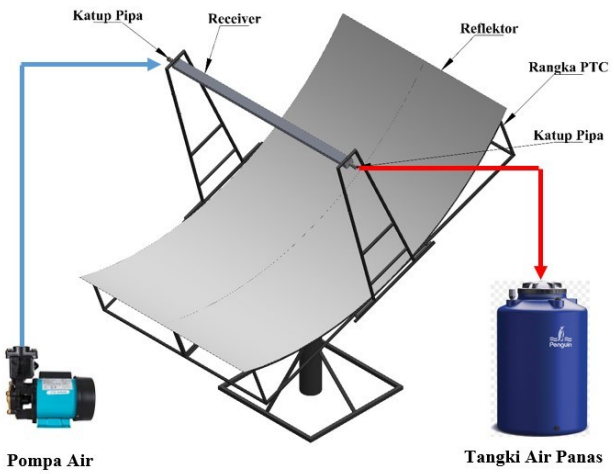
2.1. Desain dan Cara Kerja Alat

Gambar 2 ditampilkan beberapa komponen utama dari solar water heater (SWH) yang dirancang dalam penelitian ini. Komponen utama tersebut meliputi katup pipa, receiver, palung parabola, dan rangka penyangga palung parabola. Palung parabola yang digunakan memiliki ukuran seluas 5,1 m^2, dirancang untuk memusatkan energi matahari secara optimal ke receiver. Spesifikasi lengkap palung parabola beserta parameter teknis lainnya dapat dilihat lebih jelas pada **Tabel 1**. **Gambar 2**, ditunjukkan proses kerja sistem SWH. Proses dimulai dengan memompa air yang akan dipanaskan ke dalam receiver melalui katup masuk. Setelah air masuk, katup pada receiver ditutup untuk memastikan tidak ada kebocoran panas. Selanjutnya, palung parabola mulai menerima dan memusatkan cahaya matahari ke bagian bawah receiver. Panas yang terkumpul dari cahaya matahari akan diserap oleh receiver dan ditransfer ke penyimpanan panas sensibel yang terdapat di dalamnya. Penyimpanan panas ini berfungsi untuk menyimpan energi dan menjaga kestabilan suhu di dalam sistem. Panas dari penyimpanan sensibel kemudian ditransfer ke pipa dalam receiver untuk memanaskan air di dalamnya.

Desain yang dibuat mempertimbangkan efisiensi transfer energi dan minimisasi heat loss. Kombinasi antara material berkualitas, desain termal yang optimal, dan teknologi tenaga surya terkonsentrasi diharapkan mampu menghasilkan temperatur air yang tinggi, mendukung tujuan penelitian ini.

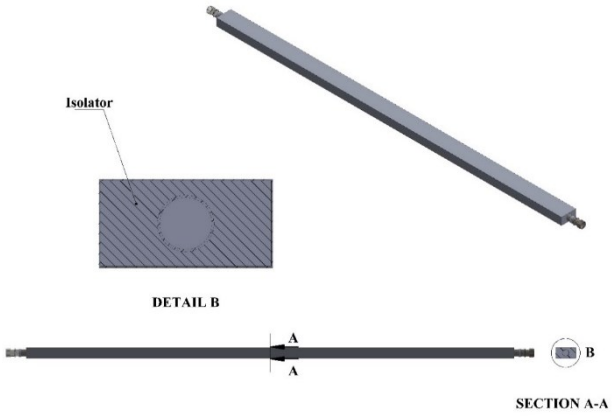
Tabel 1. Spesifikasi Palung Parabola

Komponen	Parameter	Deskripsi
Palung Parabola	Lebar	1,8 m
	Panjang	2 m
	Kedalaman	0,45 m
	Titik Fokus	1,4 m
Reflector	Reflektivitas	96%



Gambar 2. Desain Alat.

Receiver yang digunakan dirancang dengan cermat untuk memastikan efisiensi transfer panas. Receiver terdiri dari katup masuk dan keluar yang dirancang untuk mengatur aliran air. Selain itu, receiver memiliki struktur berlapis, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**, yang meliputi permukaan luar, lapisan insulasi, dan pipa di bagian dalamnya. Setiap komponen receiver dirancang dengan mempertimbangkan kemampuan isolasi termal dan transfer panas. Dimensi lengkap receiver serta komponennya dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 3. Desain Receiver

Tabel 2. Spesifikasi Receiver

Komponen	Parameter	Deskripsi
Lapisan Luar	Lebar	0,1 m
	Panjang	1,8 m
	Ketebalan	0,001 m
Insulasi	Lebar	0,09 m
	Panjang	1,79 m
	Ketebalan	0,04 m
Pipa	Diameter	0,0508
	Panjang	2 m

Material yang digunakan dalam pembuatan SWH dipilih secara seksama untuk memastikan efisiensi maksimum dan daya tahan yang tinggi. Pemilihan material didasarkan pada sifat fisiknya, seperti konduktivitas termal, densitas, dan kemampuan menahan suhu tinggi. Detail material yang digunakan beserta sifat-sifatnya dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Sifat Fisis Material

Komponen	Material	Sifat Fisis	
		Sifat	Nilai
Lapisan Luar	Aluminium	Konduktivitas Termal	205 W/m·K
Insulasi Receiver	Polyurethane Foam	Konduktivitas Termal	0,02–0,03 W/m·K
		Kapasitas Termal	1400–1800 J/kg·K
		Kalor Jenis	1,3–1,8 kJ/kg·K
Katup Pipa	Plat Besi	Kekuatan Tekan	250–400 MPa
Pipa	Stainles Steel	Konduktivitas Termal	16 W/m·K
		Kekuatan Tekan	485 MPa
Rangka Reflektor	Besi Baja	Kekutan Tekan	250–450 MPa
Pompa Air	-	Debit Max	30 L/min
Tangki Air Panas	Polyethylene Terephthalate (PET)	Konduktivitas Termal	0,24 W/m·K
		Kekuatan Tekan	85–110 MPa
		Titik Leleh	245–265 °C

2.2. Skematik Pengujian

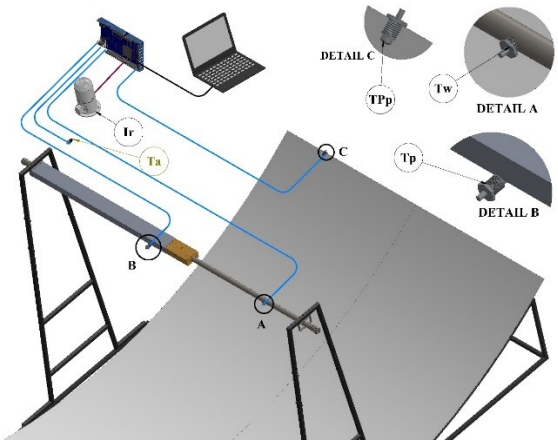
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari SWH yang dibuat. Kinerja dari SWH dapat diketahui dari beberapa parameter diantaranya adalah T_w (Temperatur air (°C)), T_P (Temperatur pipa besi (°C)), T_{Pp} (Temperatur reflector (°C)), T_a (Temper atur lingkungan (°C)), dan I_r (Intensitas radiasi matahari (W/m^2). Selanjutnya untuk mengetahui efisiensi dari SWH yang dibuat maka digunakan persamaan 3(21). Pada penelitian ini total massa air didalam pipa adalah 4 kg.

$$\eta = \frac{\frac{m.c.(T_{w2} - T_{w1})}{\Delta t}}{I_r.A} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots [1]$$

Dimana:

η = Efisiensi (%)
m = Total massa air dalam pipa besi (kg)
T_{w1} = Temperatur air awal (°C)
T_{w2} = Temperatur air akhir (°C)
I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
A = Luas reflector (m^2)

Pengujian bertujuan untuk mengetahui distribusi temperature pada receiver dan efisiensi dari SWH. Untuk mendapatkan tujuan maka diperlukan beberapa parameter yang telah disebutkan pada parameter pengujian. Untuk mendapatkan nilai dari parameter pengujian maka dilakukan eksperimen dengan menggunakan beberapa alat ukur yang diletakkan pada posisi tertentu pada SWH seperti yang terlihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Skematik Pengujian

© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Gambar 4 dapat dilihat untuk memperoleh parameter pengujian maka diletakkan beberapa alat ukur seperti termokopel untuk mengukur temperature dan pyranometer untuk mengukur radiasi matahari. Semua alat ukur menggunakan Arduino sebagai pembaca datanya. Data yang diperoleh Arduino selanjutnya akan disimpan didalam laptop.

3. Hasil dan Pembahasan

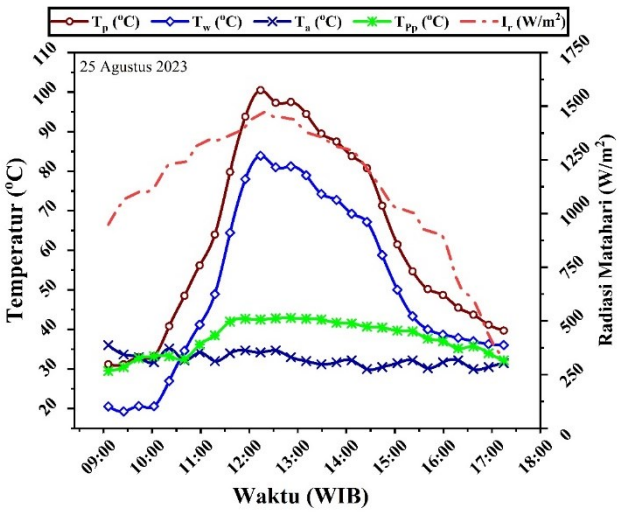
Palung parabola yang digabungkan dengan SWH memiliki tahapan pembuatan diantaranya Pemotongan rangka besi parabola sesuai ukuran, Pengelasan rangka besi parabola, Penempelan reflector, Pemotongan besi pipa, Pemotongan plat untuk pembungkus penahan panas, Pemotongan bahan untuk penahan panas, Penentuan titik focus parabola, dan Pemotongan besi untuk rangka pipa utama.



Gambar 5. Hasil Pembuatan SWH Dengan Palung Parabola

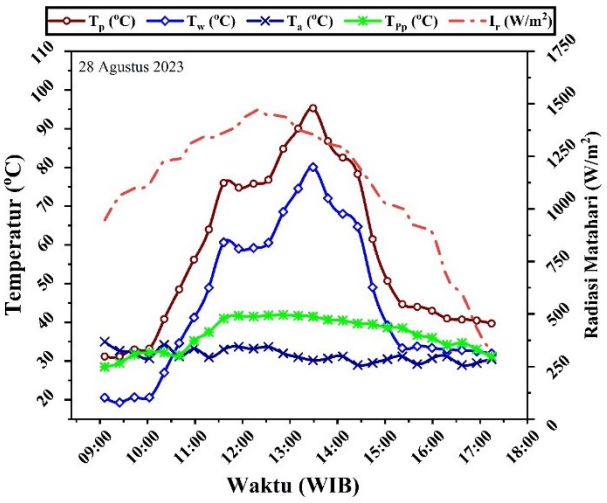
Secara singkat hasil dari pembuatan SWH dengan palung parabola dapat dilihat pada **Gambar 5**. Pada gambar 5 luas parabola yang dibuat berukuran 5,1 m2 dengan Panjang titik focus parabola dari dasar palung adalah 1,2 m. Pada gambar 5 juga dapat dilihat receiver berbentuk persegi dengan penahan panas yang tidak terlihat karena telah dibungkus oleh aluminium.

Untuk mengetahui kinerja dari SWH yang digabungkan dengan palung parabola, maka dilakukan uji eksperimental untuk memperoleh parameter yang menentukan kinerja dari SWH. Pengujian dilakukan pada tanggal 25 Agustus 2023 sampai dengan 28 Agustus 2023. Hasil dari pengujian eksperimental disajikan dalam bentuk grafik seperti yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. Hasil Pengujian Uji Kinerja Pada Tanggal 25 Agustus 2023

Gambar 6 dapat dilihat Tw maksimum dari air yang didapat dari uji eksperimental yang dilakukan adalah 84 oC pada pukul 12:13 Wib. Sedangkan Tw minimum yang diperoleh pada saat penurunan panas adalah 36,05 oC pada pukul 17:00 Wib atau tepat pada saat proses pengujian telah selesai dilakukan. Untuk perolehan TP nilai maksimum diperoleh pada pukul 12:13 Wib sebesar 100 oC, sedangkan untuk nilai minimumnya TP bernilai 39,7 oC pada pukul 17:00 Wib. Pada penelitian ini temperature rata – rata reflector adalah 37,77 oC dengan besar rata – rata intensitas matahari pada tanggal 25 Agustus 2023 adalah 1.112 W/m2. Untuk memvalidasi kinerja dari SWH yang digabungkan dengan palung parabola maka dilakukan pengujian ulang pada tanggal 28 Agustus 2023.

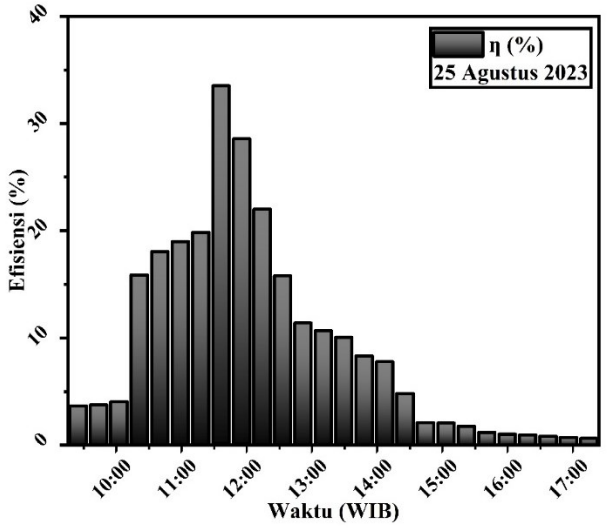


Gambar 7. Hasil Pengujian Uji Kinerja Pada Tanggal 28 Agustus 2023

© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

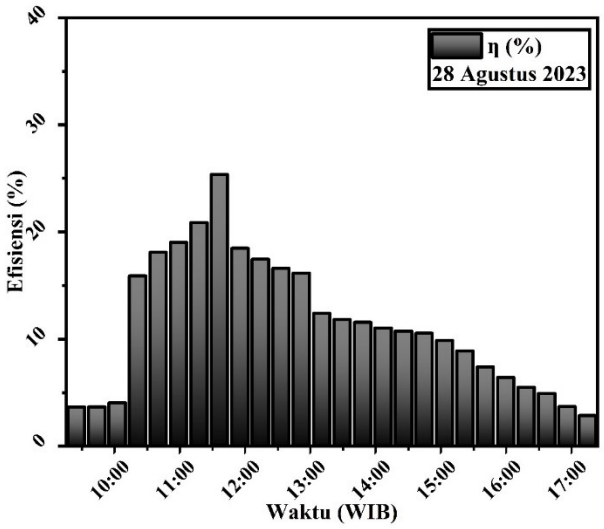
Gambar 7 dapat dilihat Tw maksimum dari air yang didapat dari uji eksperimental yang dilakukan adalah 70 oC pada pukul 12:51 Wib. Sedangkan Tw minimum yang diperoleh pada saat penurunan panas adalah 32 oC pada pukul 17:00 Wib atau tepat pada saat proses pengujian telah selesai dilakukan. Untuk perolehan TP nilai maksimum diperoleh pada pukul 13:29 Wib sebesar 95,3 oC, sedangkan untuk nilai minimumnya TP bernilai 39,7 oC pada pukul 17:00 Wib. Pada penelitian ini temperature rata – rata reflector adalah 36,77 ^{o}C dengan besar rata – rata intensitas matahari pada tanggal 28 Agustus 2023 adalah 1.100 W/m^2.

Efisiensi didapat dari persamaan 1 dengan parameter diperoleh dari pengujian eksperimental. Pada pengujian eksperimental juga dilakukan pengukuran terhadap intensitas radiasi matahari sehingga memungkinkan untuk dihitung efisiensinya. Hasil dari perhitungan efisiensi dipaparkan dalam bentuk grafik histogram. Perlu diketahui bahwa pada perhitungan efisiensi nilai awal dan akhir dari dari temperature air adalah nilai pada saat alat ukur membaca atau mengambil data pada saat pengujian. Begitu pula dengan nilai radiasi matahari diperoleh melalui pembacaan alat ukur.



Gambar 8. Hasil Perhitungan Efisiensi Pada Tanggal 25 Agustus 2023

Gambar 8 dapat dilihat untuk pengujian yang dilakukan pada tanggal 25 Agustus 2023 besar efiseiensi rata – rata yang didapat dengan menggunakan persamaan 3.1 adalah sebesar 9,56 %. Besar efisiensi maksimum terjadi padap pukul 11:36 Wib sebesar 35 %. Besar efisiensi minimum terjadi pada pukul 16:55 Wib sebesar 0,7 %. Untuk memvalidasi hasil perhitungan efisiensi ini maka dilakukan pengujian ulang pada tanggal 28 Agustus 2023.



Gambar 9. Hasil Perhitungan Efisiensi Pada Tanggal 28 Agustus 2023

Gambar 9 dapat dilihat untuk pengujian yang dilakukan pada tanggal 28 Agustus 2023 besar efiseiensi rata – rata yang didapat dengan menggunakan persamaan 3.1 adalah sebesar 11,42 %. Besar efisiensi maksimum terjadi padap pukul 11:36 Wib sebesar 25,5 %. Besar efisiensi minimum terjadi pada pukul 17:00 Wib tepat pada saat pengujian selesai dilakukan sebesar 2,86 %. Besar efisiensi rata – rata yang didapat pada tanggal 28 Agustus 2023 lebih besar ketimbang pada pengujian di tanggal 25 Agustus 2023. Ini disebabkan karena radiasi matahari pada pengujian di tanggal 28 Agustus 2023 lebih stabil sehingga menyebabkan kehilangan panas yang sedikit. Radiasi matahari yang stabil yang menyebabkan efisiensi lebih stabil juga dapat dilihat dari penurunan efisiensi dengan pengurangan yang lebih kecil pada pukul 11:30 Wib sampai dengan pukul 17:30 Wib.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian eksperimental yang dilakukan untuk mengetahui kinerja dan efisiensi dari SWH yang digabungkan dengan palung parabola maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Temperature air (Tw) maksimum yang didapat berdasarkan pemanasan yang dilakukan adalah sebesar 84 oC pada tanggal 25 Agustus 2023 dengan besar rata – rata radiasi 1.112 W/m2. Temperature air yang didapat pada awal dan akhir pengujian juga memiliki selisih sekitar 15 oC yang menandakan adanya kinerja dari SWH jika ditambahkan dengan palung parabola.
2. Efisiensi maksimum yang didapat berdasarkan hasil perhitungan adalah sebesar 35 % pada tanggal 25

Agustus 2023. Sedangkan pada tanggal 28 Agustus 2023 efisiensi maksimum yang didapat lebih rendah. Namun, pada tanggal 28 Agustus 2023 efisiensi lebih stabil yang ditunjukkan dengan hasil perhiutungan efisiensi rata – rata pada tanggal 28 Agustus 2023 adalah sebesar 11,42 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. BP. Statistical Review of World Energy 2021. [Internet]. 2021. Available from: https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html
2. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press; 2021.
3. United Nations Environment Programme. Emissions Gap Report 2021. Nairobi: UNEP; 2021.
4. IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2020. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency; 2021.
5. REN21. Renewables 2021 Global Status Report. Paris: REN21; 2021.
6. IEA. Renewables 2021: Analysis and Forecast to 2026. Paris: International Energy Agency; 2021.
7. IRENA. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency; 2021.
8. United Nations. The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations; 2015.
9. IEA. Global EV Outlook 2021. Paris: International Energy Agency; 2021.
10. IRENA. Biofuels: A Sustainable Energy Source. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency; 2021.
11. Kalogirou SA. Solar water heating systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020; 119: 109558.
12. Khatib T, et al. Solar water heating systems: A review of the current state of the art. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020; 119: 109558.
13. Khatib T, et al. Concentrated solar power: A review of the current state of the art. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020; 119: 109558.
14. Khatib T, et al. Parabolic trough solar collectors: A review of the current state of the art. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021; 135: 110186.
15. Lamrani B, et al. Modeling and analysis of parabolic trough solar collectors for residential solar water heating systems. Solar Energy. 2020; 204: 1-12.
16. Charfi R, et al. Experimental study of a parabolic trough solar collector for water heating applications. Energy Reports. 2021; 7: 123-130.
17. Abu-Zeid MA-R, et al. Enhancing the performance of parabolic trough solar collectors using nanofluids. Solar Energy. 2024; 224: 1-10.
18. Khatib T, et al. Thermal performance of parabolic trough solar collectors: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021; 135: 110186.
19. Khatib T, et al. Advances in solar water heating technology: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021; 135: 110186.
20. Khatib T, et al. Performance analysis of solar water heating systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021; 135: 110186.
21. Öztürk HH. Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar parabolic-cooker. Sol Energy. 2004;77(1):67–71.

□TAR

© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra