



THERMAL PERFORMANCE ENHANCEMENT OF SOLAR WATER HEATERS USING PHASE CHANGE MATERIALS IN FLAT PLATE COLLECTORS

Baginda Saputra Sidabutar^{1,*}, Nasruddin A. Abdullah², Nazaruddin Abdul Rahman³, Fazri Amir⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 11 Juni 2024
Direvisi 01 Juli 2024
Diterima 04 September 2024
Dipublikasi 30 Desember 2024

Keyword's:

Solar Water Heater;
Solar Energi;
Paraffin PCM;
Flat Plate Collector.

DOI:

doi.org/10.55377/jurutera.v11i02.10363

ABSTRAK

Pemanas air tenaga surya banyak digunakan untuk produksi air panas domestik dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber daya yang terbarukan dan berkelanjutan. Namun, sifat intermiten dari radiasi matahari membatasi efisiensi alat ini, terutama selama periode dengan intensitas matahari rendah atau pada malam hari. Penelitian ini mengkaji peningkatan kinerja termal pemanas air tenaga surya melalui integrasi material perubahan fase (PCM), khususnya parafin, dalam kolektor pelat datar. Parafin PCM ditempatkan dalam pipa tambahan di dalam kolektor untuk menyimpan energi panas berlebih selama jam puncak penyinaran matahari dan melepaskannya saat radiasi matahari tidak mencukupi. Uji eksperimental dilakukan untuk mengukur fluktuasi suhu, kapasitas penyimpanan panas, dan efisiensi sistem secara keseluruhan dengan dan tanpa integrasi PCM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan parafin PCM secara signifikan meningkatkan kemampuan sistem untuk mempertahankan panas, menjaga suhu air di atas 50 °C untuk periode yang lebih lama, serta meningkatkan efisiensi keseluruhan pemanas air tenaga surya sebesar 17,10%. Studi ini menunjukkan potensi pemanas air tenaga surya yang dilengkapi PCM dalam mengoptimalkan penggunaan energi dan meningkatkan efisiensi termal, sehingga lebih efektif di wilayah dengan paparan matahari yang bervariasi.

ABSTRACT

Solar water heaters are widely utilized for domestic hot water production, leveraging solar energy as a renewable and sustainable resource. However, the intermittent nature of solar radiation limits their efficiency, particularly during periods of low solar intensity or at night. This study investigates the thermal performance enhancement of solar water heaters through the integration of phase change materials (PCMs), specifically paraffin, within flat plate collectors. The paraffin PCM is placed within an additional pipe in the collector to store excess thermal energy during peak sunlight hours and release it when solar radiation is insufficient. Experimental tests were conducted to measure temperature fluctuations, heat storage capacity, and overall system efficiency with and without PCM integration. The results indicate that the addition of paraffin PCM significantly improves the system's ability to retain heat, maintaining water temperatures above 50 °C for extended periods and increasing the overall efficiency of the solar water heater by 17.10%. This study demonstrates the potential of PCM-enhanced solar water heaters in optimizing energy use and improving thermal efficiency, making them more effective in regions with variable solar exposure.

1. Pendahuluan

Pemanas air merupakan salah satu alat yang banyak digunakan masyarakat untuk memanaskan air untuk mandi yang dimana temperatur air mandi berkisaran antara 45 °C – 50 °C. Perpindahan panas pada pemanas air tenaga surya terjadi melalui proses konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi terjadi melalui tabung atau pipa yang membawa air panas dari kolektor surya ke tangki penyimpanan. (1) Konveksi terjadi saat panas naik karena perbedaan densitas dengan air dingin di tangki, sementara itu radiasi melibatkan transfer panas melalui sinar matahari ke kolektor surya dan kemudian ke air dalam pipa yang dimana proses ini memungkinkan sistem pemanas air tenaga surya untuk efisien mengumpulkan dan menyimpan energi panas dari sinar matahari. (2)

Peralatan pemanas air skala industri dan rumah tangga masih memiliki kekurangan. Pemanas air skala industri memerlukan biaya investasi dan harga jual alat pemanas untuk keperluan rumah tangga relatif tinggi dan masih menggunakan energi listrik untuk operasionalnya.(3)(4,5)

Dalam sistem pemanas air tenaga surya, sumber terpenting yang diperlukan adalah panas matahari dan juga kolektor yang digunakan untuk mengumpulkan panas serta menaikkan suhu panas matahari di ruangan tertutup. Di dalamnya terdapat pipa besi yang telah dirancang sebagai tempat terjadinya sirkulasi air melalui pengaruh radiasi matahari dengan metode sains *thermosiphon* sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik dari energi tak terbarukan ke energi terbarukan. (1)

Pemanfaatan energi surya untuk memanaskan air dilakukan dengan menggunakan peralatan yang disebut kolektor surya. Kolektor surya ini berperan khusus sebagai alat penular kalor yang berfungsi untuk menyerap panas yang terdapat pada pipa pemanas yang ditransfer melalui suatu medium fluida yang akan masuk ke dalam kolektor melalui pipa pemanas.(6) Pipa pemanas berfungsi sebagai sarana yang digunakan menjadi wadah air yang telah mengalami pemanasan oleh radiasi matahari secara langsung yang pada awalnya air bersifat dingin karena belum terpapar sinar matahari.(7)

Selain modifikasi pada saluran, kondisi pada tiap komponen kolektor juga mempengaruhi terhadap perpindahan panas dan efisiensi pemanas air tenaga surya dipengaruhi oleh beberapa faktor yang perlu diperhatikan, antara lain yaitu Intensitas cahaya matahari dimana faktor penting yang mempengaruhi kinerja pemanas air tenaga surya.(7) Semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang diterima oleh pemanas air tenaga surya maka semakin banyak pula energi yang dihasilkan untuk memanaskan air. Oleh karena itu, pemanas air tenaga surya yang

dipasang di daerah dengan cahaya matahari yang tinggi akan memiliki efisiensi yang lebih tinggi. Kondisi cuaca juga salah satu faktor penting yang perlu di perhatikan karena cuaca dapat mempengaruhi efisiensi sistem pemanas air tenaga surya karena dapat mengurangi intensitas yang diterima. (8)(9)

Pada sistem pemanas air tenaga memiliki sebuah Pipa kolektor dimana pipa kolektor ini akan menyerap panas di waktu matahari tersedia dan pada malam hari sebuah pipa kolektor akan mengalami kehilangan suhu karena tidak ada sinar matahari yang tersedia untuk memanaskan pipa. Penyimpanan energi laten menjadi kajian penting pada penelitian ini yang dimana penelitian ini di beri penamabahan PCM paraffin pada pipa kolektor yang akan di desain untuk meningkatkan panas pada pipa dan mempertahankan suhu Ketika matahari tidak tersedia.(10)(11) Hal tersebut terjadi karena PCM menyerap energi panas saat matahari memancarkan sinar dengan optimal dan menyimpannya dalam bentuk energi kimia yang disebut PCM paraffin dan Ketika matahari tidak tersedia PCM paraffin ini akan melepaskan suhu yang membuat suhu pipa besi tidak langsung turun. Secara umum, paraffin memiliki rentang titik leleh yang luas mulai dari sekitar 28°C hingga 50,6°C.(12)

Adapun alat pemanas air yang sering digunakan yaitu Pemanas air tenaga listrik, pemanas air jenis ini memanaskan air dengan menggunakan listrik. Namun ada potensi kerugian dalam penggunaan pemanas air tenaga listrik yaitu kemungkinan terkena sengatan listrik. Selain itu pemanas air tenaga listrik memerlukan banyak daya untuk memanaskan airnya, maka listrik juga terbuang sia sia karena harus menunggu lama untuk memanaskan air kembali jika air di tangki habis.(8)

Pemanas air bertenaga gas, keunggulan dari pemanas air tenaga gas ini adalah harganya yang relatif murah dan juga menghilangkan resiko sengatan listrik. Karena tidak bergantung pada energi listrik, panas yang dihasilkannya memiliki laju aliran yang konstan, dan suhunya juga stabil. Alat ini kurang efektif digunakan sebagai energi terbarukan karena secara berkelanjutan gas LPG semakin lama akan semakin habis.(2)

Pemanas air tenaga surya, pemanas air jenis ini memanaskan air dengan memanfaatkan energi dari radiasi matahari(13). Akan tetapi walaupun kelebihan alat ini menggunakan energi panas matahari dan energi terbarukan yang ramah lingkungan, namun pemanas air ini mempunyai beberapa kekurangan yaitu karena penggunaannya tergantung pada cuaca dan pemasangannya cukup rumit karena dipasang pada genteng rumah yang harus terpapar langsung terhadap sinar matahari.(7)

Diketahui dari hasil penelitian Ika Yuliyani (2020) dalam penelitian yang berjudul “alat penyimpan energi

panas menggunakan paraffin sebagai PCM (phase change material) pada sistem pemanas air surya” bahwa hasil efisiensi terbesar pemanas air dengan tabung tangki kapasitas 20 liter tanpa menggunakan paraffin adalah sebesar 47,42%, sedangkan efisiensi terbesar pemanas air dengan menggunakan paraffin adalah 52,29%.(14)

Diketahui dari hasil penelitian V. D. Sulastri (2019) dalam penelitian yang berjudul” pengaruh penambahan phase change material (PCM) pada pemanas air kolektor tabung dilengkapi dengan reflector double -U” bahwa hasil penambahan PCM dapat menyimpan panas sehingga kolektor tabung dapat menyerap panas lebih efektif dari pada tanpa menggunakan PCM dengan efisiensi tanpa PCM 48,3% dan menggunakan PCM 50,53.(15)

Berdasarkan latar belakang dapat disimpulkan bahwa masih diperlukan penelitian lanjutan guna melakukan kajian esperimental pemanas air tenaga surya berkapasitas 150 liter dengan penambahan PCM paraffin pada pipa kolektor guna peningkatan efisiensi kolektor surya dan mempertahankan suhu di waktu matahari tidak tersedia.

2. Materi dan Metode

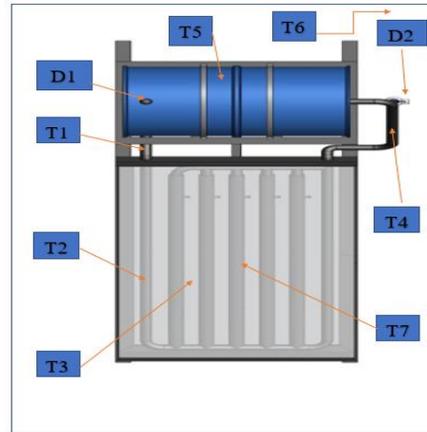
Metode studi pustaka digunakan untuk memperoleh teori-teori pendukung yang relevan dengan topik penelitian, sedangkan metode studi lapangan digunakan untuk mengamati dan mengumpulkan data mengenai pemanfaatan penambah PCM paraffin pada pipa kolektor pemanas air tenaga surya di lapangan. Sedangkan prosedur pengujian dan pengambilan data yang perlu dilakukan, yaitu sebagai berikut:

A. Tempat Pengambilan Data

Tempatkan alat pemanas di lokasi yang terbuka yang terkena sinar matahari langsung dan terhindar dari bayang bayang pepohonan maupun gedung yang ada sekitar

B. Pengukuran dan pengambilan data

Pengukuran dan pengambilan data temperature telah di letakkan di berbagai titik thermocouple yang terhubung ke data logger. Dimana titik peletakkan termocouple meliputi saluran air masuk, saluran air keluar, suhu ruangan dalam kolektor, pipa kolektor, tangki, temperatur lingkungan, dengan penambahan PCM akan di uji dengan penambahan titik thermocouple di dalam pipa yang di telah di beri PCM. Semua kegiatan dilakukan 5 menit sekali selama 12 jam dari pukul 09:00 sampai dengan 21:30 WIB.



Gambar 1. Posisi Thermocouple Saat Pengambilan Data

Posisi Thermocouple Saat Pengambilan Data

Keterangan:

- T1 : pipa saluran masuk
- T2 : pipa dalam kolektor
- T3 : suhu dalam kolektor
- T4 : pipa saluran keluar
- T5 : penampung air/ tangki
- T6 : Suhu lingkungan
- T7 : PCM dalam pipa kolektor
- D1 : debit air masuk
- D2 : debit air keluar

1. Pengambilan Data Pada Kolektor

Nilai kalor yang diperlukan kolektor guna meningkatkan suhu 150 liter air dari suhu 27 °C sampai 50 °C dihitung dengan persamaan.

$$Q_{in} = m.Cp.(\Delta T) \tag{1}$$

keterangan:

- m : Massa jenis (kg/m³)
- Cp : Merupakan panas jenis dari air (kJ/kg.°C)
- ΔT : Arus perpindahan panas titik awal dan akhir

Energy surya yang diterima oleh suatu permukaan sebanding dengan intensitas cahaya matahari dikalikan dengan proyeksi luas permukaan kolektor. Dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_i = I_0 \times A \tag{2}$$

keterangan:

E_i : Energi masuk (w)

A : Proyeksi luas permukaan kolektor (m^2)

I_o : Intensitas sinar matahari (W/m^2)

Perpindahan kalor pipa silinder berlapis pada kolektor pemanas air tenaga surya yang diperlukan untuk meningkatkan suhu air pada tangki kapasitas 150 liter di hitung dengan persamaan.

2. Persamaan transfer pindah panas pada pipa silinder berlapis

$$Q_{kolektor} = \frac{\Delta T}{R_{total}} \cdot T_4 - T_1 \quad 3$$

keterangan:

h : Koefisien konveksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A : Luas permukaan (m^2)

ΔT : Suhu pipa kolektor di kurang suhu air keluar kolektor

C_p : Luas penampang (m^2)

K : Konduktifitas termal ($W/m \text{ } ^\circ C$)

r_1 : Jari-jari dalam pipa (m)

r_2 : Jari-jari silinder dinding pipa dalam (m)

r_3 : Jari-jari dalam pipa luar (m)

r_4 : Jari-jari silinder dinding pipa luar (m)

Efisiensi termal kolektor merupakan perbandingan nilai antara energi yang digunakan untuk memanaskan air air (q_{use}) dengan energi yang diterima oleh kolektor (q_{in}):

$$\eta = \frac{q_{use}}{q_{in}} \quad 4$$

Persamaan berikut dapat digunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi kolektor dalam memanaskan fluida dengan jumlah massa tertentu, khususnya dengan membandingkan kuantitas energi panas yang disalurkan ke fluida dengan jumlah sinar matahari yang diterima kolektor per satuan luas:

$$\eta = \frac{q_u}{Ac \cdot IT} = \frac{m \cdot cp(T_{fo} - T_{fi})}{Ac \cdot IT} \quad 5$$

Keterangan:

η : Efisiensi

Q : Laju kalor yang diberikan (W)

Ac : Luasan kolektor (m^2)

IT : Intensitas matahari total (W/m^2)

m : Laju aliran fluida ($J/kg \text{ } ^\circ C$)

C_p : Panas jenis massa fluida (kg/s)

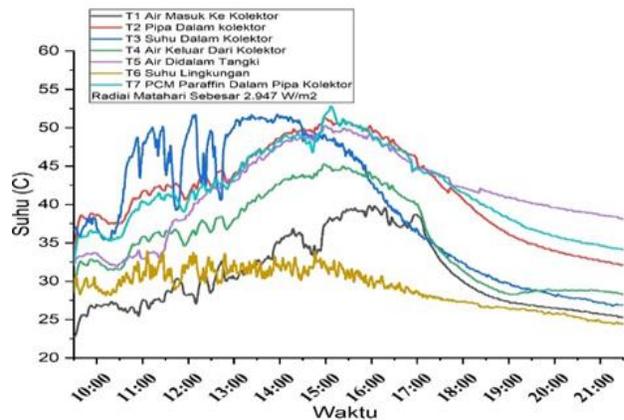
T_{fo} : Temperatur fluida keluar ($^\circ C$)

T_{fi} : Temperatur fluida masuk ($^\circ C$)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Atau Pengambilan Data Pada Suhu Air Di Dalam Tangki Setelah Di Beri PCM Paraffin

Dari hasil pengambilan data pada tanggal 13 oktober 2023 setelah melakukan pengisian PCM paraffin terhadap pipa kolektor pada alat pemanas air tenaga surya di dapat besar panas yang di dihasilkan oleh alat pemanas air tenaga surya mencapai $50,2 \text{ } ^\circ C$ dari suhu awal air sebesar $26 \text{ } ^\circ C$ dapat di lihat pada grafik 4.5. Apabila radiasi matahari mengalami perubahan cuaca (mendung) suhu panas kolektor akan secara perlahan mempertahankan suhu atau melepaskan panas dari sebuah PCM berupa paraffin. Di banding kan sebelum di beri PCM suhu air di dalam pipa akan cepat turun. Hal ini di karenakan PCM mampu meningkatkan panas dan mampu mempertahankan suhu setelah terjadi perubahan wujud dari cair ke padat disitu lah PCM akan bekerja apabila panas dari radiasi tidak tersedia. dengan rata rata radiasi matahari 7 jam dari pukul 9.30 sampai dengan 16.30 yang dimana suhu radiasi matahari yang di dihasilkan pada tanggal 13 oktober 2023 sebesar $2.947 \text{ } W/m^2$ dilihat menggunakan data access viewer.

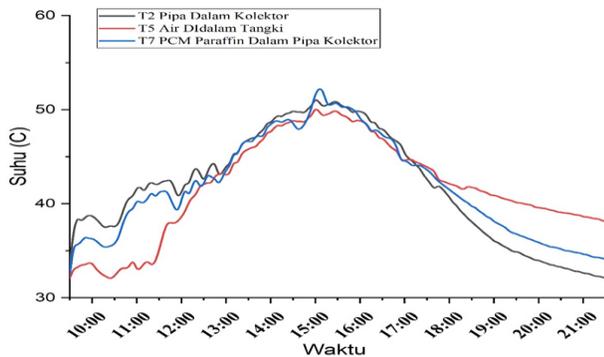


Gambar 2. Hasil Pengukuran Atau Pengambilan Data Pada Suhu Air Di Dalam Tangki Setelah Di Beri PCM Paraffin

3.2 Hasil Pengambilan Data Pada Pipa Kolektor Yang Telah Di Beri Pcm Paraffin

Penelitian ini mengetahui besar suhu yang dihasilkan pada tangki pada pemanas air tenaga surya setelah

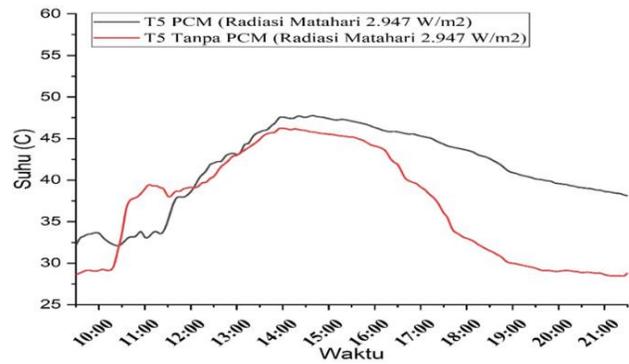
kolektornya di beri PCM sebesar 50,2 °C yang dimana besar suhu dari pipa yang telah di beri PCM sebesar 52 °C dan suhu panas dari pipa dalam kolektor sebesar 51 °C dapat di lihat pada gambar 3 dari grafik tersebut menunjukkan bahwa setelah melakukan penambahan PCM pada pipa kolektor maka pipa kolektor lebih cepat menyimpan panas sehingga mempercepat pipa besi melakukan sirkulasi air di di dalam pipa dan meningkatkan panas lebih efektif. Data Pada tanggal 13 oktober 2023



Gambar 3. Grafik Data Pada tanggal 13 oktober 2023
Pipa Kolektor Telah Di Beri PCM paraffin

3.3 Hasil Pengambilan Data Pada Temperature Air Di Dalam Tangka

Dari hasil pengambilan data pada tanggal 13 oktober 2023 setelah melakukan pengisian PCM paraffin terhadap pipa kolektor pada alat pemanas air tenaga surya di dapat besar panas yang di dihasilkan mencapai 50,2 °C dari suhu awal air sebesar 26 °C sedangkan sebelum diberi PCM pada tanggal 09 agustus 2023 yang dihasilkan alat pemanas air tenaga surya sebesar 46 °C. Dari gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa setelah melakukan atau penambahan PCM pada pipa kolektor maka pipa kolektor lebih cepat menyimpan panas sehingga mempercepat pipa besi melakukan sirkulasi air di di dalam pipa dan meningkatkan panas lebih efektif(13). Dan di dibandingkan dengan pipa kolektor tanpa menggunakan PCM Paraffin hanya bisa memanaskan air pada saat ada matahari yaitu pada pukul 09.30 sampai dengan pukul 16.00. Sedangkan dengan menggunakan PCM paraffin temperatur air di dalam pipa aliran air dapat mempertahankan suhu air. Hal tersebut membuktikan bahwa PCM dapat mempertahankan panas air di dalam pipa sampai dengan 2 jam.



Gambar 4. Grafik Data Pada Temperatur Air Didalam Tangki

3.4 Perhitungan Alat Pemanas Air Tenaga Surya Telah Di Beri Pcm Paraffin Pada Pipa Kolektor

Berdasarkan data yang di dihasilkan dari hasil percobaan alat pemanas air tenaga surya dengan penambahan PCM paraffin pada pipa kolektor di dapatkan data sebagai berikut:

1. Air Masuk Ke Dalam Kolektor (T1) = 26 °C
2. Air Keluar Dari Kolektor (T4) = 48 °C
3. Pipa Dalam Kolektor (T2) = 51 °C
4. Suhu Dalam Kolektor (T3) = 51,5 °C
5. Suhu Lingkungan (T6) = 33,3 °C
6. Air Didalam Tangki (T5) = 50,2 °C
7. PCM Paraffin Dalam Pipa Kolektor (T7) = 52,3 °C
8. Intesitas Cahaya Matahari Pada Tanggal 13 Oktober 2023 = 2.947 W/m² (Dilihat Menggunakan Nasa Power Data)

3.5 Hasil Perhitungan Energi Yang Diserap Air (Qair)

Pada penelitian ini telah dilakukan perhitungan untuk pengambilan hasil pada kolektor untuk mengetahui berapa besar daya serap yang di terima air pada saat alat pemanas air tenaga surya di lakukan pengujian.

Massa air = 150 liter =150 kg

Panas jenis air = 4.200 J/kg°C

Suhu awal air = 26 °C

Suhu akhir air = 50,2 °C

Maka Qair = m. Cp.(ΔT)

Penyelesaian:

$$150 \text{ kg. } 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } 50,2^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$$

$$= 150 \text{ kg. } 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } 24,2^\circ\text{C}$$

$$= 15.246.000 \text{ J}$$

$$= \frac{15.246.000 \text{ J}}{7 \text{ jam}}$$

$$= \frac{15.246.000 \text{ J}}{25.200 \text{ s}} = 605 \text{ W}$$

Pengujian sebelum penamhaan PCM paraffin terhadap pipa kolektor

Massa air = 150 liter =150 kg

Panas jenis air = 4.200 J/kg°C

Suhu awal air = 26,2 °C

Suhu akhir air = 46 °C

Maka Qair = m. Cp.(ΔT)

Penyelesaian:

$$150 \text{ kg. } 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } 46^\circ\text{C} - 26,2^\circ\text{C}$$

$$= 150 \text{ kg. } 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C. } 19,8^\circ\text{C}$$

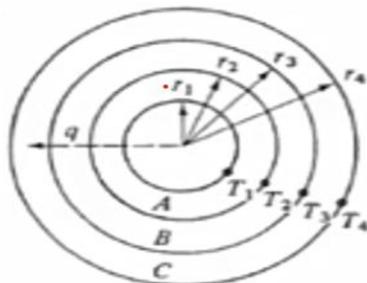
$$= 12.474.000 \text{ J}$$

$$= \frac{12.474.000 \text{ J}}{7 \text{ jam}}$$

$$= \frac{12.474.000 \text{ J}}{25.200 \text{ s}}$$

$$= 495 \text{ W}$$

3.5.1 Hasil Perhitungan Transfer Pindah Panas Pada Pipa Silinder Berlapis Terhadap Air



Gambar 5. Rangkaian Thermal Pada Pipa Slinder Berlapis Terhadap Air

$$Q_{kolektor} = \frac{\Delta T}{R_{total}} \cdot T_4 - T_1$$

Dimana:

ΔT = Suhu pipa kolektor di kurang suhu air keluar kolektor

T4 = Air Keluar Dari Kolektor

T1 = Air Masuk Ke Dalam Kolektor

$$605 \text{ W} = \frac{51^\circ\text{C} - 48^\circ\text{C}}{R_{total}} \times 48^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$$

$$605 \text{ W} = \frac{3^\circ\text{C}}{R_{total}} \times 22^\circ\text{C}$$

$$605 \text{ W} - 22^\circ\text{C} = \frac{3^\circ\text{C}}{R_{total}}$$

$$R_{total} = \frac{3^\circ\text{C}}{605 \text{ W} - 22^\circ\text{C}}$$

$$R_{total} = 0,0051 \text{ W}$$

Maka Rtotal = R1 + R2 + R3 + R4

$$R_{total} = R_1 = \frac{1}{h \cdot A} + R_2 = \frac{(\ln \frac{R_2}{R_1})}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + R_3 = \frac{(\ln \frac{R_3}{R_2})}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + R_4 = \frac{(\ln \frac{R_4}{R_3})}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}$$

$$0,0051 \text{ W} = \frac{1}{h \cdot 0,089 \text{ m}} + \frac{\ln \frac{0,0009 \text{ m}}{0,013 \text{ m}}}{2,3,14,79,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ m}^2} + \frac{\ln \frac{0,021 \text{ m}}{0,0009 \text{ m}}}{2,3,14,79,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ m}^2} + \frac{\ln \frac{0,00115 \text{ m}}{0,021 \text{ m}}}{2,3,14,79,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ m}^2}$$

$$\left[0,0051 \text{ W} - \frac{\ln \frac{0,0009 \text{ m}}{0,013 \text{ m}}}{2,3,14,79,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ m}^2} - \frac{\ln \frac{0,00115 \text{ m}}{0,021 \text{ m}}}{2,3,14,79,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ m}^2} \right] = \frac{1}{h \cdot 0,089 \text{ m}}$$

$$h = \left[\frac{1}{0,0051 \text{ W} - \frac{\ln \frac{0,0009 \text{ m}}{0,013 \text{ m}}}{2,3,14,79,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ m}^2} - \frac{\ln \frac{0,00115 \text{ m}}{0,021 \text{ m}}}{2,3,14,79,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ m}^2} - \frac{\ln \frac{0,00115 \text{ m}}{0,021 \text{ m}}}{2,3,14,79,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ m}^2} \cdot 0,089 \text{ m}} \right]$$

$$h = \left[\frac{1}{0,0051 \text{ W} - \frac{0,069}{599,122 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} - \frac{23,3}{599,122 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} - \frac{0,054}{599,122 \text{ W/m}^2\text{C}} \cdot 0,089 \text{ m}} \right]$$

$$h = \left[\frac{1}{0,0051 \text{ W} - \frac{23,2}{599,122 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} - 0,089 \text{ m}} \right]$$

$$h = \left[\frac{1}{0,0051 - 0,03872 \cdot 0,089} \right]$$

$$h = \frac{1}{0,0016 \text{ m}^\circ\text{C}}$$

$$h = 625 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

3.5.2 Besar Kalor Yang Diterima Oleh Kolektor

Besar kalor yang diterima kolektor sama dengan energi surya yang diterima oleh suatu permukaan sebanding dengan intensitas cahaya matahari di kalangan rata rata intensitas matahari 7 jam dari pukul 9.30 samapai dengan 16.30. pengambilan data pada tanggal 13 oktober 2023 di langsa sebesar 2.947 W/m^2 maka temperatur kolektor sebagai berikut:

$$Q_{\text{kolektor}} = I_o \times A$$

$$Q_{\text{kolektor}} = 2.947 \text{ W/m}^2 \times 1,2 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{kolektor}} = 3.536,4 \text{ W}$$

3.5.3 Hasil Perhitungan Efisiensi Yang Di Hasilkan Oleh Kolektor

Setelah mengetahui daya serap yang diterima oleh kolektor maka didapatkan nilai efisiensi kolektor dengan rata rata radiasi matahari 7 jam dari pukul 9.30 samapai dengan 16.30. pengambilan data pada tanggal 13 oktober 2023 di kota langsa 2.947 W/m^2 sebagai berikut:

$$\eta = \frac{q_u}{\text{Ac. IT}}$$

$$\eta = \frac{605}{1,2 \times 2.947} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{605}{3.536,4} \times 100\%$$

$$= 17,10\%$$

Efisiensi sebelum kolektor di beri PCM paraffin Adapun pengujian pada tanggal 9 agustus 2023 dengan rata rata radiasi matahari 7 jam dari pukul 9.30 samapai dengan 16.30. pengambilan data pada tanggal 9 agustus 2023 di kota langsa 2.912 W/m^2 sebagai berikut:

$$\eta = \frac{q_u}{\text{Ac. IT}}$$

$$\eta = \frac{495}{1,2 \times 2.912} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{495}{3.494,4} \times 100\%$$

$$= 14,16\%$$

Dari hasil perbandingan efisiensi yang telah dilakukan pada penelitian Ika Yuliyani, Tina Mulya Gantina, and Nurlita Yunikasari, “Alat Penyimpan Energi Panas Menggunakan Parafin Sebagai PCM (Phase Change Material) Pada Sistem Pemanas Air Surya” temperatur air tetinggi pada pemanas air dengan menggunakan PCM paraffin adalah sebesar $52,29^\circ\text{C}$ pada tangki yang berkapasitas 20 liter.(14) Dan penelitian ini menghasilkan efisiensi setelah diberi PCM Paraffin pada pipa kolektor yang berukuran $1\frac{1}{4}$ -inch yang dimana pipa aliran berukuran $\frac{3}{4}$ inch efisiensi sebesar 17,10% dan menghasilkan air panas tertinggi sebesar $50,2^\circ\text{C}$ yang dimana kapasitas pada tangki sebesar 150 liter dengan

menggunakan pipa besi dengan luasan $1,2 \text{ m}^2$. Dan pada penelitian ini dapat dikatakan bahwa kapasitas pada tangki dapat mempengaruhi temperatur air karena volume air yang lebih besar memerlukan lebih banyak energi untuk memanaskan air pada tangki. Sementara kapasitas tangki yang volume air yang lebih kecil dapat lebih cepat panas.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pembuatan pemanas air tenaga surya dengan penambahan PCM paraffin pada pipa kolektor, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut, penambahan variasi sistem PCM paraffin terhadap pipa di dalam kolektor lebih efisien dari yang tidak di beri penambahan PCM paraffin. Sebelum di beri penambahan PCM panas yang dihasilkan oleh alat pemanas air tenaga surya yaitu sebesar 46°C dan setelah di beri penambahan PCM pada pipa kolektor maka suhu panas yang dihasilkan oleh alat pemanas air tenaga surya yaitu sebesar $50,2^\circ\text{C}$. dengan melakukan pemberian PCM terhadap pipa. Kolektor maka kolektor dapat menyimpan panas dan mempertahankan panas lebih lama di banding sebelum di beri PCM. Dari hasil pengujian dan pengambilan data yang dilakukan alat pemanas air ini dapat menaikkan suhu air hingga mencapai $50,2^\circ\text{C}$ dengan efisiensi yang dihasilkannya sebesar 17,10%.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan karunia-Nya sehingga dapat terselesaikan skripsi yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin di Universitas Samudra. Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan langsung dan tidak langsung dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, kritik dan saran sangat diharapkan demi perbaikan penelitian selanjutnya. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan dapat dijadikan sebagai tambahan informasi bagi semua pihak yang membutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sidopekso S. Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pemanas Air. Berkala Fisika. 2011;14(1):23-26–26.
2. Susanto H, Irawan D. Pengaruh Jarak Antar Pipa Pada Kolektor Terhadap Panas Yang Dihasilkan Solar Water Heater (Swh). Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin. 2017;6(1):84–91.
3. Farid A, Ismail NR. Pengaruh Pelat Penyerap Ganda Model Gelombang Terhadap Kinerja Solar

- Water Heater Sederhana. *Solar Water Heater Sederhana*. 2006;19(1):12–5.
4. Natarajan SK, Elangovan E, Elavarasan RM, Balaraman A, Sundaram S. Review on solar dryers for drying fish, fruits, and vegetables. *Environmental Science and Pollution Research* [Internet]. 2022 Jun 1 [cited 2024 Jun 30];29(27):40478–506. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19714-w>
 5. Amir F, Adlie TA, Arif Z, Mukhtar A, Fitria L. Design and Fabrication Forced Convection Fish Smoking Kiln. *International Conference on Science, Technology and Modern Society* [Internet]. 2017 [cited 2019 Mar 25];1(1):196–9. Available from: <https://ejurnalunsam.id/index.php/icstms/article/view/591>
 6. Gultom MS. Perancangan dan Pengujian Pemanas Air Tenaga Surya yang disertai Material Berubah Fasa (PCM) sebagai Medium Penyimpan Panas. *Jurnal Dinamis*. 2013;1(13):18–9.
 7. Ambarita JR, Nasution AH, Setyawan EY. Analisa Perpindahan Panas Tangki Air Berkapasitas 80 Liter Pada Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Hybrid. *Jurnal Flywheel*. 2018;9(2):7–11.
 8. Ramadhan N, Soeparman S, Widodo A. Analisis Perpindahan Panas pada Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya dengan Turbulence Enhancer. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2017;8(1):15–22.
 9. Heriyanto Rusmaryadi. Rancang Bangun Alat Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Konfigurasi Tube Serpentine Berkapasitas 100 Liter. *Jurnal Teknik Mesin*. 2019;1(2):66.
 10. Syuhada A. Karakteristik Perpindahan Panas Peleburan Parafin-Al 2 O 3 Sebagai Material Penyimpan Panas. *Jurnal Fisika*. 2013;12(1):121–6.
 11. Sharma A, Tyagi V V., Chen CR, Buddhi D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009;13(2):318–45.
 12. Sutjahjono H, Djumhariyanto D. Penambahan Bahan Berbasis Minyak Pada Pcm Parafin Guna Meningkatkan Karakteristik Penyimpanan Termal Pada Kolektor Surya. *Jurnal Elemen*. 2018;4(2):86.
 13. Amin M, Amir F, Abdullah NA, Samad APA, Umar H, Sirait AOTY. Experimental Research of Solar Cooker with High Solar Energy Concentration Using Parabolic Dish. *Lecture Notes in Mechanical Engineering* [Internet]. 2021 [cited 2023 Aug 11];179–88. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-0736-3_18
 14. Ika Yuliyani, Tina Mulya Gantina, Nurlita Yunikasari. Alat Penyimpan Energi Panas Menggunakan Parafin Sebagai Pcm (Phase Change Material) Pada Sistem Pemanas Air Surya. *Jurnal Teknik Energi*. 2020;6(2):464–77.
 15. Sulastri VD, Sutjahjono H, Syuhri A. Pengaruh Penambahan Phase Change Material (PCM) Pada Pemanas Air Kolektor Tabung Dilengkapi Dengan Reflektor Double - U. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*. 2019;12(2):58.