

Penyimpanan energi termal Pada parafin dari energi surya untuk aplikasi pemanas air dengan siklus kolektor plat datar – tabung parafin

Muhammad Irsyad^{a,1}, Agus Sugiri^a, Jorfri B Sinaga^a, M Dyan Susila^a and Ahmad Jarkasih Mada^a

^aJurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Bandar Lampung

[1muhammad.irsyad@eng.unila.ac.id](mailto:muhammad.irsyad@eng.unila.ac.id)

ABSTRACT

The potential for solar energy in Indonesia is high and quite stable throughout the year, with a usage time of 10-12 hours a day and with an average solar radiation of 4.8 kWh/m²/day. This potential can be utilized for various purposes such as electrical energy, drying, and water heating. The water heating technology using solar collectors has been widely produced commercially, and in general, the heated hot water is stored in tubes. Direct storage of water when solar energy is abundant requires large volumes. Thermal energy storage technology using phase change material (PCM) is one of the right solutions for storing thermal energy for this application. This research has used a flat plate collector equipped with copper pipes to channel water as a carrier of thermal energy to a heat exchanger containing paraffin. Variations in water flow rate are 2 lpm, 4 lpm and 6 lpm. Research with a solar radiation range of 850 W/m² – 960W/m² has produced several things, namely: the collector temperature when the water flows is 61.43°C, the paraffin temperature could reach 50°C within 200 minutes, and the water temperature in the tube of 18.2kg has been could reach 44°C with a processing time of 44 minutes. Increasing solar radiation can speed up the energy storage process and increase the capacity of stored energy.

Keywords: Penyimpanan energi termal, energi surya, paraffin, pemanas air

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Potensi energi matahari di Indonesia yang sangat besar yakni 4,5 kW/m²/hari dengan rentang waktu yang bisa dimanfaatkan 8 – 10 jam sepanjang tahun. Salah satu pemanfaatan energi matahari adalah untuk memanskan air menggunakan kolektor surya yang dikenal dengan solar water heater (SWH). Penggunaan SWH sangat berkontribusi dalam meminimalkan penggunaan energi listrik yang juga secara tidak langsung berkontribusi mengurangi pelepasan CO₂ ke atmosfer. Kebutuhan air panas banyak dijumpai berbagai sektor seperti: perumahan, rumah sakit, hotel, dan lain lain. Kondisi cuaca yang cerah akan memudahkan dalam proses memanskan air, sehingga waktu untuk menghasilkan air panas relatif cepat. Pada saat air panas sudah tercapai dengan temperatur 40 – 50°C, maka kolektor surya tidak bekerja dengan optimal. Agar energi matahari setelah pemanas tercapai dapat dimanfaatkan, maka perlu penyimpanan energi termal.

Penyimpanan energi termal dapat dilakukan dengan tanpa perubahan fasa maupun dengan perubahan fasa. Penyimpanan energi termal yang melibatkan perubahan fasa memanfaatkan panas laten dalam penyimpanan energi. Material yang digunakan disebut material fasa berubah

(phase change material, disingkat PCM). Penggunaan PCM memiliki keuntungan dalam massa dan volume yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan penyimpanan dengan memanfaatkan panas sensibel, karena densitas termalnya tinggi.

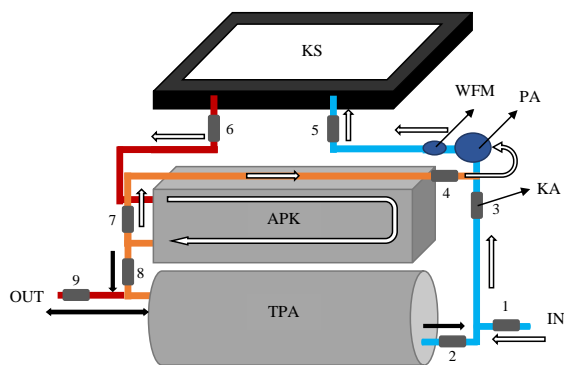
Sistem panas air tenaga matahari yang dilengkapi dengan menyimpan panas ekstra menggunakan PCM di tangki penyimpanan selama berjam-jam, sangat mengurangi ketergantungan pada tambahan gas alam atau pemanas listrik [1]. Penggunaan PCM dalam sistem SWH yang berkembang ada tiga model yakni: sirkulasi langsung, sirkulasi tidak langsung, dan PCM pada kolektor surya. Metode sirkulasi langsung adalah dengan mengalirkan air melewati kolektor dan diteruskan ke alat penukar kalor (APK) yang berisi PCM secara siklus tertutup [2]. Beberapa PCM yang digunakan pada siklus langsung seperti: Sodium Asetat Trihidrat (SAT) dengan temperatur perubahan fasa 70°C, Stearic Acid (SA) dan Coconut Shell Charcoal (CSC) dengan suhu perubahan fasa dan panas laten sebesar 52,52°C dan 76,69 J/g, serta paraffin lilin [3,4,5]. Model kedua adalah siklus tidak langsung. Air mengambil kalor dari kolektor surya kemudian masuk ke dalam alat penukar kalor dan memindahkan kalor ke fluida yang dialirkan ke alat penukar kalor kedua yang

berisi PCM, kedua fluida tersebut dialirkan secara siklus tertutup [6]. Metode yang ketiga adalah PCM dipasang pada bagian bawah kolektor surya [7].

Pemanfaatan PCM dalam penyimpanan energi termal menggunakan alat penukar kalor dengan penempatan PCM di dalam shell untuk jenis shell and tube. Penggunaan alat penukar kalor jenis ini untuk posisi pipa horizontal lebih unggul dalam perpindahan panas dibandingkan posisi pipa vertical, sehingga dapat mengurangi waktu charging atau pengisian kalor ke PCMnya (Seddegh dkk., 2016) [8].

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara ekperimental di lingkungan terbuka dengan memanfaatkan sinar matahari langsung. Sistem pengujian terdiri dari kolektor surya, alat penukar kalor berisi PCM, tabung air, pompa dan alat ukur. Kolektor surya adalah jenis pelat datar dengan ukuran: 80 cm x 50 cm yang terdiri dari kaca, pelat hitam, pipa tembaga, glass wool, dan triplek yang dipasang pada dudukan kayu. Pada bagian pelat datar dipasang pipa tembaga yang berdiameter 3/8 inci, disusun sejajar dengan jarak antar pipa 5 cm. Alat penukar kalor terdiri dari tube yang terhubung secara kontinu dengan jumlah 36 pipa berdiameter 1 inch, panjang 50 cm dan panjang keseluruhan adalah 1800 cm. diantara tube dan shell diisi dengan paraffin sebanyak 15 kg. atau 17,7 liter pada saat cair. Tabung air dengan diameter 20 cm dan tinggi 58 cm dengan massa air 18,2 kg. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan alir air yaitu 2, 4, dan 6 lpm. Pengujian dilakukan di ruang terbuka pada saat kondisi cuaca cerah dari jam 11:00 sampai jam 15:00. Skema dan foto alat uji diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Skema alat uji



Gambar 2. Foto alat uji

Untuk mendapatkan data-data maka alat uji didukung dengan alat ukur yakni: alat ukur debit aliran menggunakan merk Sea tipe ZJ-LCD-M; alat ukur temperatur menggunakan datalogger Lutron BTM-4208SD, dengan sensor termokopel tipe K; alat ukur irradiansi matahari menggunakan Solar Power Meter Lutron SPM-1116SD. Data temperatur diambil pada bidang pelat kolektor, aliran masuk dan keluar kolektor, serta pada parafin

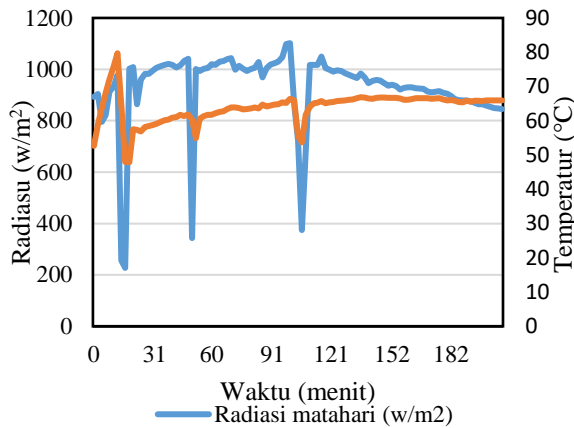
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian lapangan selama rentang 3 jam untuk tiga debit aliran 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm dilakukan pada kondisi cuaca cerah, yakni pada tanggal: 26 Juni 2023, 29 Juni 2023 dan 25 Agustus 2023. Irradiansi rata-rata untuk pengambilan data 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm masing-masing adalah: 944,1 W/m², 850,9 W/m² dan 892,0 W/m². Temperatur permukaan kolektor rata-rata selama pengujian untuk masing-masing variasi debit aliran 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm adalah: 63,9°C, 59,2°C, dan 61,2°C. Pembahasan dari hasil pengolahan data yang diperoleh dikelompokkan atas, kinerja kolektor surya, penyimpanan energi termal pada paraffin dan pemanasan air dari paraffin.

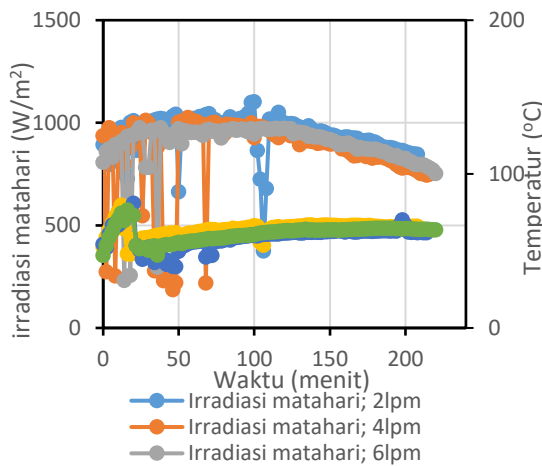
Kinerja kolektor surya

Temperatur permukaan kolektor naik seiring dengan naiknya irradiansi matahari, dan menurun pada saat irradiansi matahari turun akibat awan atau mendung, seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Karena pengambilan data temperature permukaan pelat bersamaan dengan dialirkan air untuk mengambil kalor, maka temperature permukaan pelat secara perlahan meningkat mencapai sekitar 60°C. Secara keseluruhan

temperature kolektor untuk setiap variasi debit aliran air, diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Irradiasi matahari dan temperatur permukaan pelat kolektor untuk pengujian 2lpm

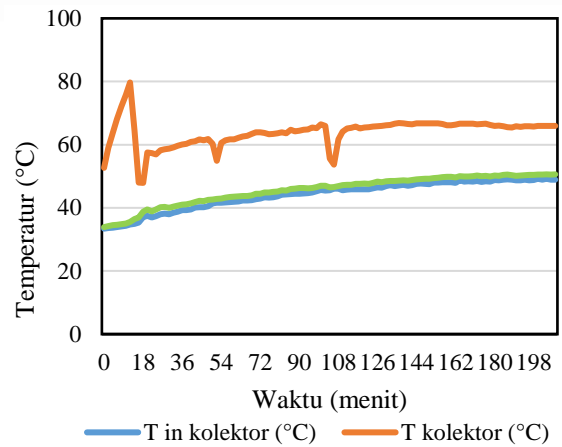


Gambar 4. Irradiasi matahari dan temperatur permukaan pelat kolektor untuk setiap variasi debit aliran

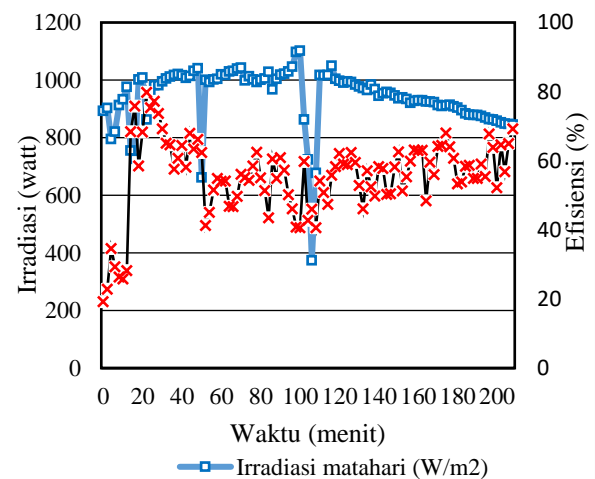
Peningkatan temperatur permukaan pelat kolektor, seiring dengan adanya sinar matahari ke kolektor. Secara bersamaan air dialirkan di kolektor melalui pipa-pipa untuk menyerap kalor dari pelat kolektor sehingga temperatur air menjadi meningkat, seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Siklus aliran air merupakan siklus tertutup setelah melewati kolektor air masuk ke dalam alat penukar kalor berisi paraffin, kemudian masuk kembali ke kolektor. Air yang mengalir dalam alat penukar kalor melepaskan kalor ke paraffin, sehingga temperatur paraffin secara perlahan meningkat.

Perpindahan panas yang terjadi dari energi radiasi matahari menjadi energi termal pada plat kolektor dan diserap oleh air yang dialirkan langsung setiap saat. Efisiensi termal setiap saat pada proses ini dapat dilihat pada Gambar 6. Kondisi cuaca yang menyebabkan irradiasi matahari menurun atau naik tidak langsung

berdampak ke kalor yang diserap air, sehingga efisiensi termal menjadi lebih baik saat kondisi irradiasi matahari menurun.



Gambar 5. Peningkatan temperatur air masuk dan keluar kolektor surya untuk pengujian 2lpm

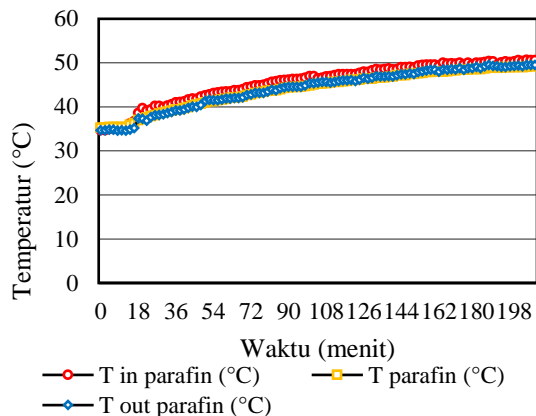


Gambar 6. Efisiensi termal kolektor untuk aliran 2 lpm

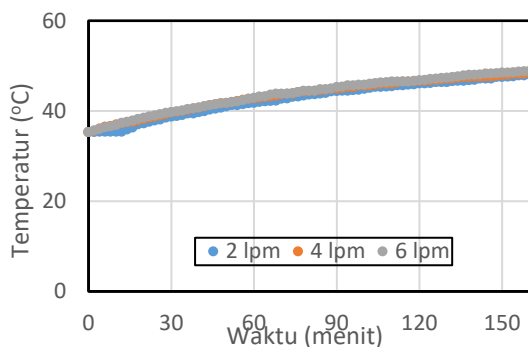
Kinerja paraffin sebagai penyimpan energi termal

Air panas yang dihasilkan kolektor dialirkan ke alat penukar kalor yang berisi paraffin. Perpindahan panas terjadi dari air ke pipa alat penukar kalor dan diteruskan ke paraffin sehingga secara perlahan temperatur paraffin meningkat, seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Proses sirkulasi air dari kolektor ke alat penukar kalor selama 200 menit dapat meningkatkan temperature paraffin menjadi 50°C. Beberapa perubahan irradiasi matahari yang terjadi tidak terlalu berdampak terhadap kenaikan temperature air panas yang masuk ke dalam alat penukar kalor berisi paraffin. Air panas masuk naik secara teratur. Hal yang sama terjadi untuk debit aliran yang lain. Debit aliran 6 lpm sedikit lebih tinggi kenaikan

temperatur paraffin seperti diperlihatkan pada Gambar 8. Dari hasil pengujian dengan tiga variasi debit aliran ini penyimpanan termal dalam paraffin belum mencapai kondisi optimal karena pada temperature maksimum paraffin yang diperoleh masih belum melewati pelelehan secara sempurna. Temperatur leleh paraffin terjadi pada range temperature 47 – 64°C [9].



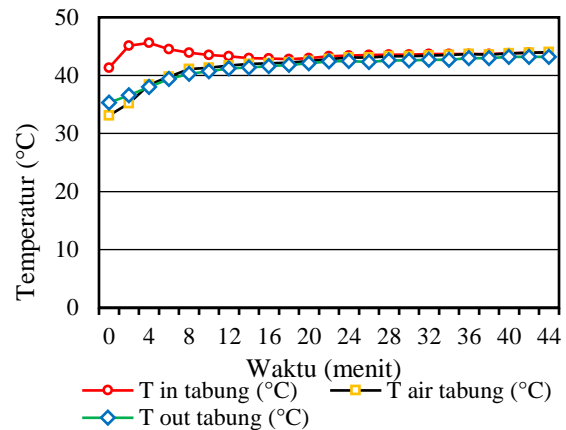
Gambar 7. Penyimpanan energi termal pada paraffin untuk debit aliran 2 lpm



Gambar 8. Perbandingan penyimpanan energi termal pada paraffin untuk variasi debit aliran

Pemanasan Air

Pemanfaatan kalor yang disimpan di paraffin untuk memanskan air adalah dengan mengalirkan air dari tabung air ke alat penukar kalor berisi paraffin dengan siklus tertutup. Temperatur air secara kontinu naik setelah mengambil kalor dari paraffin, dan sebaliknya temperatur paraffin secara kontinu terus menurun setelah melepaskan kalor ke air. Temperatur air dalam tabung dapat mencapai 44°C setelah 44 menit bersiklus melewati alat penukar kalor berisi paraffin untuk debit aliran 6 lpm, seperti diperlihatkan pada Gambar 9. Pemanasan air dengan debit 4 lpm, dan 6 lpm dengan waktu yang sama menghasilkan temperatur air yang tidak jauh berbeda.



Gambar 9. Pemanasan air menggunakan paraffin dalam alat penukar kalor, untuk aliran 6 lpm

KESIMPULAN

Pemanfaatan energi surya dengan irradiasi berkisar 850 – 950 W/m² dapat disimpan dalam paraffin sebagai energi termal pada temperature 50°C dengan proses pemanasan selama 200 menit dan dapat menghasilkan air panas dengan temperature 44°C sebanyak 18,2 kg dengan waktu proses 44 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Lampung, yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian ini melalui Hibah DIPA FT Unila tahun 2023

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Fleischer, "Thermal energy storage using phase change materials: Fundamentals and applications". *In Springer Briefs in Applied Sciences and Technology*, No. 9783319209210, 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20922-7>
- [2] S.M. Shalaby, A.E. Kabeel, B.M. Moharram, and A.H. Fleaf. "Experimental study of the solar water heater integrated with shell and finned tube latent heat storage system." *Journal of Energy Storage* 31 (2020): 101628. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101628>
- [3] G. Englmaier, D. Mark, B.J. Jakob, K. Weiqiang, D. Janne, F. Simon, and F. Jianhua, "Testing of PCM heat storage modules with solar collectors as heat source." *Energy Procedia*, 91: 138-144, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.189>
- [4] B. Xie, L. Chuanchang, Z. Bo, Y. Lixin, X. Guiyu, and C. Jian, "Evaluation of stearic

acid/coconut shell charcoal composite phase change thermal energy storage materials for tankless solar water heater." *Energy and Built Environment* 1, no. 2, (2020): 187-198.

<https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2019.08.003>

- [5] Andriyanto, E. Pangestu, I. N. Hakim, J. A. Pratama, A. Sugiri, Amrizal, M. D. Susila, and M. Irsyad, "Thermal Energy Storage Characteristics of Paraffin in Solar Water Heating Systems with Flat Plate Collectors", *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 95, Issue 2, 113-119, 2022
- [6] J. Zhao, Y. Ji, Y. Yuan, Z. Zhang, and J. Lu. "Energy-Saving Analysis of Solar Heating System with PCM Storage Tank." *Energies*, 11, 237, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11010237>
- [7] E. Vengadesan, and R. Senthil. "A review on recent development of thermal performance enhancement methods of flat plate solar water heater." *Solar Energy* 206 (2020): 935-961. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.059>
- [8] S. Seddegh, X. Wang, & A. D. Henderson, "A comparative study of thermal behaviour of a horizontal and vertical shell-and-tube energy storage using phase change materials". *Applied Thermal Engineering*, 93, 348-358. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.09.107>, 2016
- [9] I.C. Oseghale, and E.J. Akpabio, "Managing paraffin wax deposition in oil wells - Related problems in Nigerian oil fields". *Society of Petroleum Engineers - 36th Nigeria Annual Int. Conf. and Exhibition 2012, NAICE 2012 - Future of Oil and Gas: Right Balance with the Environment and Sustainable Stakeholders' Participation*, 2(July), 551-560. 2012. <https://doi.org/10.2118/163037-MS>