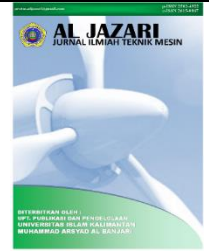




Al Jazari Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Journal homepage:
<https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/IJR/index>
p-ISSN 2502-4922, e-ISSN 2615-0867



Pengaruh Variasi Jarak Antar Sirip Aksial Dan Debit Aliran Air Terhadap Kinerja Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Dengan Media Parafin

Erik Tri Mahyudi^{a*}, Muhammad Irsyad^b

^a Pemeliharaan Alat Berat, Politeknik Tunas Garuda, eriktrimahyudi89@gmail.com

^b Teknik Mesin, Universitas Lampung, muhammad.irsyad@eng.unila.ac.id

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 3 Maret 2026

Diterima dalam bentuk revisi: 29 April 2026

Diteima/publis: 5 Mei 2026

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak antar sirip dan debit aliran air terhadap kinerja perpindahan panas pada alat penukar kalor dengan media parafin. Parameter yang diamati meliputi selisih temperatur air masuk dan keluar, waktu pemanasan parafin hingga mencapai temperatur 63°C, serta laju perpindahan panas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin kecil jarak antar sirip, semakin besar selisih temperatur air dan semakin cepat waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur target. Peningkatan debit aliran air juga meningkatkan selisih temperatur air, namun justru memperpanjang waktu pemanasan parafin. Selain itu, laju perpindahan panas meningkat seiring dengan semakin rapatnya jarak antar sirip dan semakin besarnya debit aliran air. Nilai laju perpindahan panas tertinggi diperoleh pada debit 12 LPM dengan jarak antar sirip 3 cm sebesar 542,60 W, sedangkan nilai terendah terjadi pada debit 4 LPM dengan jarak antar sirip 5 cm sebesar 32,78 W. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi sirip dan debit aliran air memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi perpindahan panas pada alat penukar kalor

Kata Kunci

geometri sirip, pelelehan, parafin, penukar kalor.

Abstract

This study aims to analyze the effect of fin spacing variation and water flow rate on the heat transfer performance of a heat exchanger using paraffin as the heating medium. The observed parameters include the temperature difference between inlet and outlet water, the heating time required for paraffin to reach 63°C, and the heat transfer rate. The experimental results show that smaller fin spacing increases the temperature difference of the water and shortens the time required for paraffin to reach the target temperature. An increase in water flow rate also raises the temperature difference; however, it prolongs the heating time of the paraffin. Furthermore, the heat transfer rate increases with closer fin spacing and higher water flow rates. The highest heat transfer rate was obtained at a flow rate of 12 LPM with a fin spacing of 3 cm, reaching 542.60 W, while the lowest value occurred at 4 LPM with a fin spacing of 5 cm, with a heat transfer rate of 32.78 W. These results indicate that fin configuration and water flow rate significantly influence the heat transfer efficiency of the heat exchanger

<http://dx.doi.org/10.31602/al-jazari.v11i1.22909>



©UNISKA 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Jurnal Al Jazari is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

PENDAHULUAN

Masalah lingkungan hidup di seluruh dunia, mendorong pengurangan konsumsi energi fosil [1]. Energi surya adalah salah satu jenis energi bersih yang paling populer dan tersebar luas karena dianggap sebagai salah satu sumber paling aman. Bumi setiap tahun menerima energi matahari yang melebihi jumlah total energi yang

dikonsumsi manusia setiap tahunnya. Pemanfaatan energi surya dalam jumlah besar ini akan membantu melindungi lingkungan dan memperkuat perekonomian global serta mengurangi emisi berbahaya. Untuk mendapatkan manfaat dari radiasi matahari yang masuk, energi tersebut diubah menjadi jenis energi lain untuk memfasilitasi penyimpanan, transportasi, dan

penggunaan untuk berbagai kebutuhan [2]. Salah satu cara untuk mendapatkan sumber energi yang ekonomis dan ramah lingkungan adalah dengan menggunakan energi alternatif terbarukan. Energi matahari adalah salah satu energi alternatif yang bersifat terbarukan [3]. Untuk memanfaatkan energi matahari sebagai pemanas air maka dibutuhkan sebuah perangkat bernama kolektor surya untuk dapat mengumpulkan panas dari energi matahari yang kemudian diubah menjadi energi kalor. Namun energi matahari ini memiliki waktu tertentu untuk dapat dimanfaatkan sedangkan penggunaan dari pemanas air ini harus mempunyai fleksibilitas terhadap waktu. Maka diperlukan sebuah media yang dapat menyimpan energi termal pada sistem pemanas air tenaga surya tersebut [4]. *Phase change material* atau biasa disingkat dengan PCM adalah salah satu media penyimpan energi termal yang merupakan salah satu solusi tidak konsistennya intensitas energi matahari yang diterima oleh bumi. PCM dapat mengalami proses reversibel dari proses pelelehan (*melting*) maupun pembekuan (*solidifikasi*) yang dapat dimanfaatkan untuk mempertahankan suhu konstan selama periode waktu tertentu, sehingga dapat dimanfaatkan pada aplikasi penyimpanan panas laten. PCM akan menyimpan kalor disertai perubahan fasa ketika siang hari dan pada saat radiasi matahari menurun PCM akan melepaskan kembali panas ke air yang membuat suhu berada pada temperatur konstan [5]. Salah satu jenis PCM yang dapat digunakan sebagai penyimpan energi termal adalah parafin. Parafin memiliki sifat antara lain konduktivitas termalnya rendah ($\sim 0,2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), sifat termalnya stabil di bawah 500°C [6]. Disamping itu parafin juga ketersediaannya melimpah dan mudah didapatkan, parafin juga memiliki nilai ekonomis yang rendah sehingga lebih terjangkau oleh semua kalangan. Nilai perpindahan kalor yang terjadi pada parafin dapat diketahui dengan cara memanaskan parafin hingga meleleh atau dapat disebut dengan proses pelelehan. Dalam skenario saat ini, kebutuhan air panas meningkat baik di tingkat industri maupun domestik. Jadi saat ini, pemanas air tenaga surya digunakan untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan. Pemanas air tenaga surya menggunakan energi panas dari radiasi matahari yang terjadi untuk memanaskan air. Ini adalah aliran alami (bekerja dengan efek termosifon) atau aliran paksa (menggunakan pompa) [7]. Vyshak dan Jilani melakukan analisis rinci menggunakan metode numerik untuk membandingkan total waktu leleh PCM, khususnya heksahidrat klorida, dalam penyimpanan panas laten dengan volume dan luas perpindahan panas yang sama dalam tiga geometri wadah yang berbeda, yaitu persegi panjang, silinder, dan cangkang-dan-konfigurasi tabung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wadah shell-and-tube membutuhkan waktu paling singkat untuk meleleh sempurna. Signifikansi ini meningkat seiring

bertambahnya massa PCM untuk kapasitas penyimpanan energi yang sama [8].

Kibria dkk. melakukan penelitian eksperimental dan numerik untuk menganalisis pengaruh aliran dan dimensi sistem pada sistem penyimpanan energi panas yang melibatkan susunan shell-and-tube. Air digunakan sebagai Heat Transfer Fluid (HTF), dan lilin parafin berfungsi sebagai PCM. Temuan menunjukkan bahwa suhu air masuk mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan laju aliran massa terhadap waktu penyimpanan energi panas dan suhu air keluar. Selain itu, radius tabung ternyata menjadi parameter yang lebih penting daripada ketebalan untuk mencapai perpindahan panas yang lebih baik antara PCM dan HTF [9].

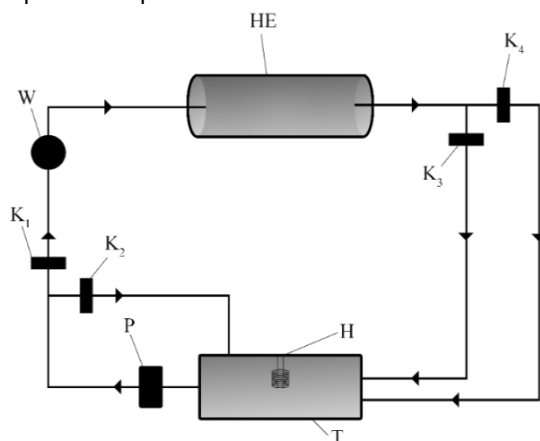
Seddegh dkk. membandingkan penggunaan model perpindahan panas gabungan yang melibatkan konduksi dan konveksi dalam sistem penyimpanan panas shell-and-tube aksial dan horizontal menggunakan PCM. Hasilnya menunjukkan tipe horizontal menunjukkan kinerja termal yang unggul selama proses pengisian, dan peningkatan suhu masuk HTF mengurangi total waktu pengisian [10]. Demikian pula, Modi dkk. menganalisis pengaruh geometri sirip terhadap kinerja termal sistem LHTES menggunakan tabung memanjang bersirip horizontal. Variasi yang diuji meliputi tinggi, ketebalan, dan jumlah sirip memanjang, dengan parafin dikemas dalam annulus. Hasil penelitian menunjukkan profil leleh di bagian depan, suhu rata-rata, dan profil kecepatan PCM diilustrasikan secara grafis. Penggunaan sejumlah kecil sirip memanjang (2,85% dari total volume) mengurangi total waktu leleh sebesar 34% dibandingkan dengan konfigurasi tabung kosong [11]. Demikian pula, El dkk. menyelidiki karakteristik termofluida penukar panas pipa ganda (DPHE) dengan sirip belah memanjang (SLF). Hal ini dilakukan dengan menggunakan bilangan Prandtl yang tinggi dengan sifat termofisika yang bervariasi. Simulasi dinamika fluida komputasi (CFD) tiga dimensi dilakukan dalam kondisi aliran laminar untuk konfigurasi dengan interval jarak sirip berkisar antara 0,333 hingga 0,166 m. Hasil penelitian menunjukkan laju perpindahan panas pada annulus yang dilengkapi SLF lebih tinggi dibandingkan tabung halus konvensional sebesar 31% hingga 48% untuk daya pemompaan dan berat satuan yang sama [12].

Mishra dkk. membandingkan perpindahan panas konvektif pada permukaan sirip padat dan berlubang dan menyelidiki pengaruh jumlah dan ukuran perforasi terhadap karakteristik konveksi alami. Selanjutnya, percobaan dilakukan pada sirip padat dan sirip yang memiliki jumlah perforasi permukaan berbeda. Jarak pada permukaan dianggap sebagai parameter yang mempengaruhi kontrol perpindahan panas alami, dengan jarak masing-masing 6mm, 8mm, 10mm, dan 12mm. Setelah analisis mendetail, disimpulkan bahwa sirip berlubang memberikan laju perpindahan panas

yang lebih tinggi dan menurunkan suhu permukaan sirip dibandingkan sirip padat. Hasil analisa menunjukkan pola zig-zag dengan perforasi sebanyak 5 baris, diameter perforasi 10 mm, dan jarak sirip 10 mm memberikan hasil yang optimal [13]. Lilin parafin sebagian besar ditemukan dalam bentuk padatan lilin berwarna putih, tidak berbau, tidak berasa, dengan titik leleh khas antara sekitar 47 °C dan 64 °C (116,6 °F hingga 147,2 °F), dan memiliki kepadatan sekitar 0,9 g/cm³ [14]. Lilin parafin aman, karena tidak menimbulkan korosi, maka cocok dengan wadah logam. Namun, mereka berinteraksi dengan beberapa wadah plastik yang memiliki kemiripan kimia dengan parafin [15]. Berdasarkan temuan tersebut, maka perlu dilakukan investigasi eksperimental tentang pengaruh variasi jarak sirip aksial pada alat penukar panas pipa ganda yang berisi lilin parafin pada annulus untuk penyimpanan energi panas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan variasi jarak sirip aksial yang optimal dalam proses penyimpanan energy panas.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan skema pengujian dimulai dari parafin dengan suhu ruang (25°C) atau masih dalam bentuk padat, kemudian fluida berupa air dipanaskan di tempat penampung air panas yang kemudian dialirkan ke *double pipe* dengan menggunakan pompa air hingga parafin mencair. Kecepatan dari aliran air ini dapat dikontrol dengan menggunakan katup air dan kecepatan alirannya dapat dilihat melalui *water flow meter sensor*. Temperatur parafin, temperatur fluida masuk dan keluar penukar panas, serta temperatur masuk dan keluar tempat penampung air dapat diketahui dengan *thermocouple* dan *data logger*. Instalasi alat pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:

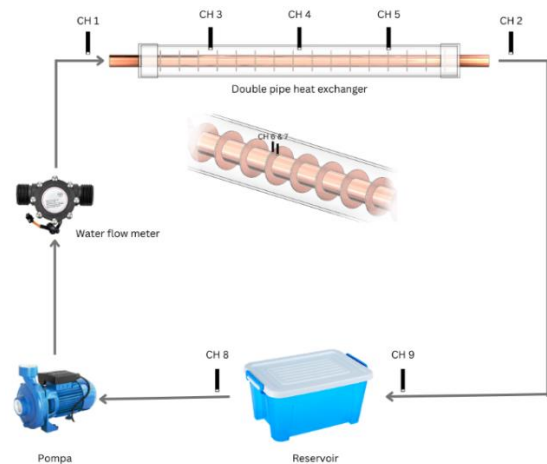


Gambar 1. Instalasi alat uji

Keterangan:

- H: Pemanas air
- T: Tempat penampung air
- HE: Alat penukar kalor
- P: Pompa air

- W: *Water flow meter sensor*
- K: Katup air



Gambar 2. Penempatan titik pengukuran

Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran temperatur dan debit aliran air. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel dan pengukuran debit aliran air dengan menggunakan *water flow meter*. Untuk pengukuran temperatur, digunakan 9 buah termokopel (CH 1 – CH 9).

CH 1 adalah temperatur air sebelum masuk *double pipe*, CH 2 adalah temperatur air sesudah keluar dari *double pipe*, CH 3 adalah temperatur parafin yang diletakkan 10 cm setelah pangkal pipa, CH 4 adalah temperatur parafin yang diletakkan ditengah pipa, CH 5 adalah temperatur parafin yang diletakkan 10 cm sebelum ujung pipa, CH 6 adalah temperatur sirip bawah *inner pipe*, CH 7 adalah temperatur sirip atas *inner pipe*, CH 8 adalah temperatur air sesudah keluar reservoir, dan CH 9 adalah temperatur air sebelum masuk ke reservoir kembali.

Untuk mengukur debit aliran air, *water flow meter* disambungkan dengan pipa penghubung diantara *double pipe* dan katup *bypass*. Pengambilan data temperatur dilakukan setiap 10 detik dengan menggunakan *data logger*. Percobaan dilakukan sebanyak 9 kali dimana terdiri dari 3 variasi debit air (4 LPM, 8 LPM, dan 12 LPM) dan 3 variasi jarak sirip (3 cm, 4 cm, dan 5 cm).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan sebuah elemen pemanas air. Elemen pemanas air yang digunakan memiliki daya sebesar 650 Watt berbentuk huruf "U" yang terbuat dari bahan stainless steel. Elemen pemanas air ini dihubungkan dengan temperatur kontroler. Temperatur kontroler ini berfungsi untuk mempertahankan temperatur yang diinginkan, yaitu 80°C dengan cara memutuskan dan menghidupkan arus listrik pada elemen pemanas air.

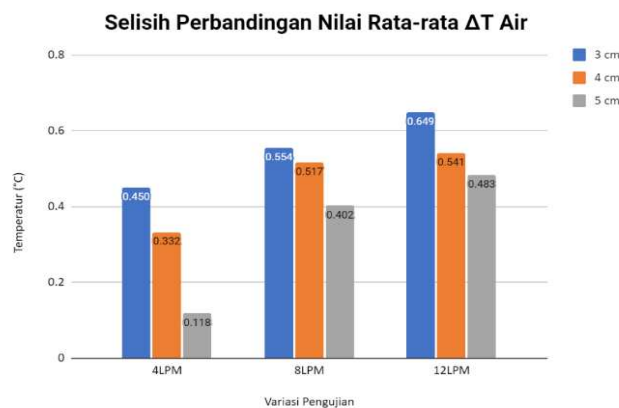
Elemen pemanas air ini akan memanaskan air pada reservoir sampai dengan temperatur 80°C. Setelah air

mencapai temperatur yang diinginkan kemudian air akan dialirkan dan akan kembali ke reservoir sampai temperatur air masuk stabil dan debit aliran air stabil sebelum pengujian dilakukan dengan alat penukar kalor yang akan diuji. Alat penukar kalor yang diuji pada penelitian ini adalah *double pipe heat exchanger* dengan tambahan sirip melintang pada pipa bagian dalam. Sirip yang digunakan divariasikan jarak antar siripnya, yaitu 3, 4, dan 5 cm.

Besarnya debit aliran air akan dilihat dengan menggunakan *water flow meter* dan di variasikan 4, 8, dan 12 LPM.

Temperatur Air Masuk dan Keluar Alat Penukar Kalor

Temperatur air masuk dan air keluar alat penukar kalor ini menunjukkan proses pelepasan kalor dari air ke parafin. Data ditunjukkan melalui gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Selisih Perbandingan Nilai Rata-rata Temperatur Air Masuk dan Keluar Alat Penukar Kalor

Dari gambar 3 dapat dilihat hasil rata-rata dari selisih data temperatur air masuk (CH 1) dan temperatur air keluar alat penukar kalor (CH 2) yang telah didapatkan dari hasil pengujian. Pada pengujian debit aliran air 4 LPM, nilai rata-rata perbedaan temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor dengan jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut adalah senilai 0.45°C, 0.332 °C, dan 0.118°C. Dimana nilai tertinggi ada pada variasi jarak antar sirip 3 cm, yaitu 0.45 °C.

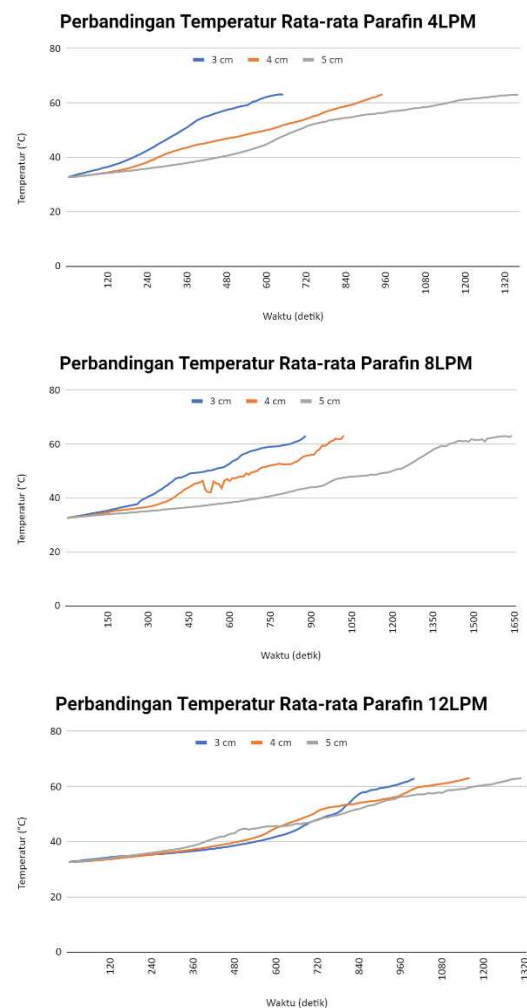
Pada pengujian debit aliran air 8 LPM, nilai rata-rata perbedaan temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor dengan jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut adalah senilai 0.554 °C, 0.517 °C, dan 0.402 °C. Nilai tertinggi pada variasi jarak antar sirip 3 cm sebesar 0.554 °C.

Sedangkan pada pengujian debit aliran air 12 LPM, nilai rata-rata perbedaan temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor dengan jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut adalah senilai 0.649°C, 0.541°C, dan 0.483 °C. Nilai tertinggi pada variasi jarak antar sirip 3 cm sebesar 0.649°C.

Pada pengujian yang telah dilakukan ini menunjukkan bahwa semakin dekat jarak antar sirip maka semakin besar pula kalor yang dilepas oleh air. Dapat dilihat juga dari hasil pengujian yang telah dilakukan ini menunjukkan bahwa semakin besar variasi debit aliran air yang digunakan maka semakin besar pula kalor yang dilepas oleh air. Dalam keseluruhan pengujian, nilai rata-rata perbedaan temperatur air masuk dan air keluar alat penukar kalor terbesar terdapat di variasi jarak antar sirip 3 cm dengan debit aliran air 12 LPM yaitu senilai 0.649 °C. Sedangkan nilai temperatur air masuk dan air keluar alat penukar kalor terkecil terdapat di variasi jarak antar sirip 5 cm dengan debit aliran air 4 LPM yaitu hanya senilai 0.118 °C.

Perbandingan temperatur parafin

Temperatur parafin ini menunjukkan perubahan temperatur yang terjadi pada parafin yang terletak di *outer pipe* saat menerima kalor dari air yang dialirkan di *inner pipe* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini :



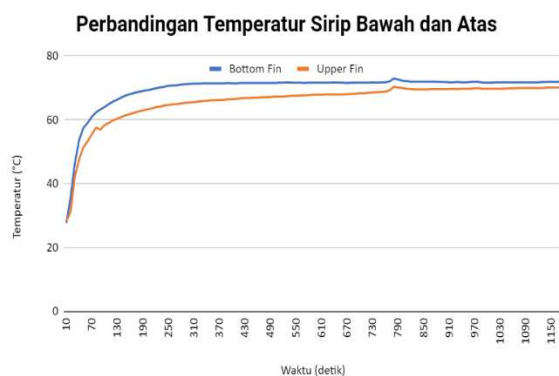
Gambar 4. Grafik Perbandingan Temperatur Rata-rata Parafin di Debit Aliran air 4 LPM, 8 LPM dan 12 LPM

Grafik perbandingan temperatur parafin diatas adalah hasil rata-rata dari 3 data temperatur parafin (CH 3, CH 4, dan CH 5) yang telah didapatkan dari hasil pengujian. Bila dilihat dari ketiga grafik diatas, dapat dilihat bahwa variasi pengujian dengan jarak sirip 3 cm lebih cepat mencapai suhu 63°C dibandingkan dengan variasi pengujian dengan jarak sirip 4 cm ataupun 5 cm. Sedangkan semakin jauh jarak sirip, waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C semakin lama dan ditunjukkan dalam grafik diatas bahwa variasi pengujian dengan jarak sirip 4 cm dan 5 cm semakin melandai.

Hal ini semakin memperkuat bahasan sebelumnya dimana nilai rata-rata selisih air masuk dan keluar alat penukar kalor nilainya akan semakin kecil apabila jarak siripnya semakin jauh. Parafin akan menerima kalor yang dilepas oleh air maka dari itu semakin kecil nilai rata-rata selisih air masuk dan keluar alat penukar kalor maka kalor yang diterima parafin juga akan semakin kecil atau dalam kata lain semakin jauh jarak sirip maka semakin lama waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C .

Perbandingan temperatur sirip

Data temperatur sirip didapatkan dari hasil pengujian yang diambil menggunakan termokopel dan *data logger*. Parameter yang diambil adalah temperatur sirip bagian bawah dan sirip bagian atas, penempatan termokopel (CH6 dan CH7) dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini :



Gambar 5. Grafik Perbandingan Temperatur Sirip Bawah dan Sirip Atas

Gambar 5 menunjukkan temperatur sirip bagian bawah dan atas dari salah satu variasi pengujian. Untuk pengujian dengan variasi lain hasilnya tidak jauh berbeda, hal ini dikarenakan variasi sirip yang digunakan hanya jarak antar sirip tanpa memvariasikan tinggi dan tebalnya.

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5 diatas, nilai dari temperatur sirip bawah lebih besar dibandingkan dengan temperatur sirip atas. Hal ini dikarenakan arah dari perpindahan panas yang terjadi, dimulai dari perpindahan panas secara konveksi pada air, lalu perpindahan panas secara konduksi pada pipa tembaga

yang kemudian merambat ke sirip dimulai dari bagian bawah ke bagian atas.

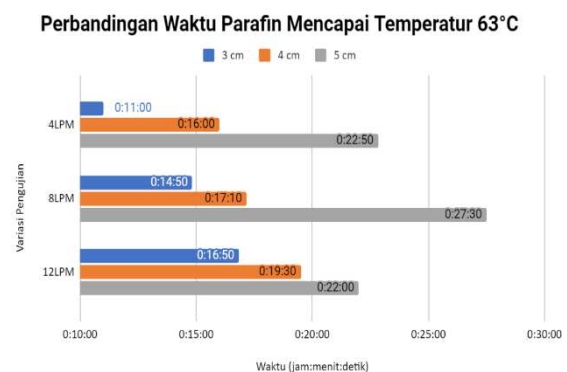
Temperatur rata-rata sirip bawah adalah senilai 69.625°C , sedangkan untuk temperatur rata-rata sirip atas adalah senilai 65.794°C . Selisih temperatur sirip bawah dan sirip atas tidak terlalu jauh disebabkan jarak tinggi sirip yang relative kecil. Pada penelitian ini titik pengukuran antar termokopelnya hanya berjarak 0.8 cm.

Pada Gambar 5 dapat dilihat juga bahwa grafik perbedaan temperatur sirip bawah dan sirip atas semakin lama akan semakin kecil perbedaan temperaturnya. Hukum termodinamika 0 telah menjelaskan fenomena ini tentang kesetimbangan termal bahwa zat atau materi benda akan memiliki kesetimbangan termal yang sama bila disatukan [16].

Jadi dalam pengujian ini dapat disimpulkan dari hukum termodinamika 0, perbedaan temperatur sirip atas dan sirip bawah maupun parafin akan mengecil dan pada akhirnya akan sama. Dalam pengujian ini terjadi perpindahan panas dari sirip ke parafin. Pada awal percobaan selisih temperatur antara parafin dan sirip masih sangat tinggi, sehingga panas yang ada di sirip di transfer ke parafin secara masif dan semakin lama akan semakin kecil perbedaan temperaturnya sehingga panas yang ditransfer juga akan berkurang.

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 63°C

Dalam pengujian ini parafin di panaskan dari temperatur ruangan hingga temperatur parafin mencapai 63°C sehingga terjadi perubahan fasa pada parafin dari padat menjadi cair. Berikut adalah grafik dari waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C .



Gambar 6. Grafik Perbandingan Waktu Parafin Mencapai Temperatur 63°C

Pada pengujian debit aliran air 4 LPM, waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C pada variasi jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut 11 menit, 16 menit, dan 22 menit 50 detik. Waktu tercepat yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C terjadi pada variasi jarak antar sirip 3 cm selama 11 menit.

Pada pengujian debit aliran air 8 LPM, waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C pada variasi jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut 14 menit 50 detik, 17 menit 10 detik, dan 27 menit 30 detik. Waktu tercepat yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C terjadi pada variasi jarak antar sirip 3 cm selama 14 menit 50 detik.

Pada pengujian debit aliran air 12 LPM, waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C pada variasi jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut 16 menit 50 detik, 19 menit 30 detik, dan 22 menit. Waktu tercepat yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C terjadi pada variasi jarak antar sirip 3 cm selama 16 menit 50 detik.

Secara keseluruhan, dari hasil pengujian yang dilakukan, waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C di setiap variasi debit aliran air waktu tercepat diperoleh pada jarak antar sirip 3 cm, diikuti oleh 4 cm, dan 5 cm. Waktu tercepat yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C dalam pengujian ini ada pada debit aliran air 4 LPM dengan jarak antar sirip 3 cm, yaitu hanya selama 11 menit.

Dilihat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 63°C akan semakin cepat apabila variasi jarak antar sirip semakin dekat. Artinya semakin banyak jumlah sirip maka akan semakin luas area perpindahan panasnya sehingga akan mempercepat proses pelelehan pada parafin.

Laju Perpindahan Panas Air

Laju Perpindahan Panas Air ini menunjukkan perpindahan panas yang terjadi dalam alat penukar kalor, dimana energi panas berpindah dari air panas yang berada pada *inner pipe* ke PCM parafin yang berada di *outer pipe* dan dalam proses perpindahan energi tersebut ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi. Data hasil pengujian yang telah dilakukan ditunjukkan pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1.

Data Laju Perpindahan Panas

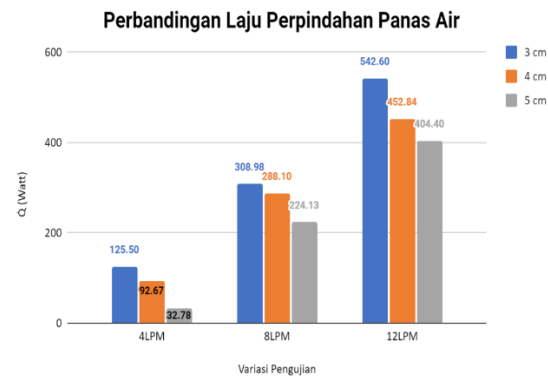
Variasi	$\bar{x} \Delta T$ (°C)			$\dot{m}$ (kg/s)	c_p water (J/kg°C)	$\dot{Q}$ (Watt)		
	3 cm	4 cm	5 cm			3 cm	4 cm	5 cm
4 LPM	0.45 0	0.33 2	0.11 8	0.066	4196	125.5 0	92.67	32.78
8 LPM	0.55 4	0.51 7	0.40 2	0.133		308.9 8	288.1 0	224.1 3
12 LPM	0.64 9	0.54 1	0.48 3	0.199		542.6 0	452.8 4	404.4

Berdasarkan data pada Tabel 1 bisa didapatkan hasil perhitungan laju perpindahan panas yang dibutuhkan untuk memanaskan parafin dari temperatur ruangan ke

temperatur 63°C, berikut ini adalah persamaan dari laju perpindahan panas:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan diatas, dapat diketahui nilai laju perpindahan panas air pada setiap variasi yang diuji. Nilai hasil perhitungan laju perpindahan panas air ini dapat dilihat seperti pada gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Grafik Perbandingan Laju Perpindahan Panas Air

Pada pengujian debit aliran air 4 LPM, nilai laju perpindahan panas air mulai dari variasi jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut adalah 125.50 Watt, 92.67 Watt, dan 32.78 Watt. Didapatkan nilai laju perpindahan terbesar pada pengujian variasi jarak antar sirip 3 cm, yaitu sebesar 125.50 Watt.

Pada pengujian debit aliran air 8 LPM, nilai laju perpindahan panas air mulai dari variasi jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut adalah 308.98 Watt, 288.10 Watt, dan 224.13 Watt. Didapatkan nilai laju perpindahan terbesar 308.98 Watt.

Pada pengujian debit aliran air 12 LPM, nilai laju perpindahan panas air mulai dari variasi jarak antar sirip 3, 4, dan 5 cm berturut-turut adalah 542.60 Watt, 452.84 Watt, dan 404.4 Watt. Nilai laju perpindahan panas terbesar 542.60 Watt.

Secara keseluruhan, seperti pada Gambar 7 diatas nilai laju perpindahan panas air terbesar terdapat di variasi debit aliran 12 LPM pada jarak sirip 3 cm yaitu 542.60 Watt. Sedangkan nilai laju perpindahan panas air terkecil terdapat di variasi debit aliran air 4 LPM pada jarak sirip 5 cm yaitu 32.78 Watt.

Pada pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa semakin dekat variasi jarak antar sirip maka nilai laju perpindahan panasnya akan semakin besar. Untuk variasi jarak antar sirip 3 cm, 4 cm, maupun 5 cm, nilai laju perpindahan panas terbesar ada pada pengujian debit aliran air 12 LPM, diikuti dengan debit aliran air 8 LPM, dan 4 LPM. Dengan kata lain, nilai laju perpindahan panas akan semakin besar apabila debit aliran airnya semakin besar. Hal ini dapat dipengaruhi oleh bilangan Reynolds yang berhubungan dengan besar/kecilnya debit aliran air. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan memperkecil jarak antar sirip maka jumlah sirip akan

bertambah, sehingga luas area konduksi juga akan bertambah, akibatnya resistensi termal dari paraffin dapat diperkecil sehingga waktu pelelehan paraffin dapat diperpendek [17].

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini jarak sirip telah diteliti dan dibandingkan pada karakteristik sistem pelelehan paraffin sebagai media penyimpan panas. Manfaat penambahan jumlah sirip sampai batas optimal dalam proses pelelehan menunjukkan bahwa Semakin dekat variasi jarak antar sirip yang digunakan maka semakin besar selisih nilai temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor serta waktu yang dibutuhkan paraffin untuk mencapai temperatur 63 °C juga akan semakin cepat. Semakin besar variasi debit aliran air maka semakin besar selisih nilai temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor namun waktu yang dibutuhkan paraffin untuk mencapai temperatur 63 °C justru semakin lama. Semakin dekat variasi jarak antar sirip yang digunakan maka nilai laju perpindahan panas semakin besar dan semakin besar variasi debit aliran air yang digunakan maka nilai laju perpindahan panas semakin besar pula. Nilai laju perpindahan panas terbesar ada pada variasi pengujian debit aliran air 12 LPM variasi jarak antar sirip 3 cm, yaitu senilai 542.60 Watt sedangkan nilai terkecil ada pada variasi pengujian debit aliran air 4 LPM variasi jarak antar sirip 5 cm, yaitu sebesar 32.78 Watt.

REFERENSI

- H. Susanto & D. Irawan. Pengaruh Jarak Antar Pipa Pada Kolektor Terhadap Panas Yang Dihasilkan Solar Water Heater (SwH). *Turbo Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1):84–91. doi:10.24127/trb.v6i1.470, (2017).
- D. Rahmalina, et al. Peningkatan Performa Termal Phase Change Material dengan Komposit Berbasis Paraffin/High-Density Polyethylene Melalui Penambahan Carbon Nanotube. *TURBO*, 12(02), (2023).
- D. Ganang. Permodelan Dan Simulasi Pemanas Air Energi Surya Menggunakan Kolektor Pipa Paralel. *Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta*, (2018).
- R. Koželj, et al. An Experimental and Numerical Analysis of an Improved Thermal Storage Tank with Encapsulated PCM for Use in Retrofitted Buildings for Heating. *Energy and Buildings*, 248. doi:10.1016/j.enbuild.2021.111196, (2021).
- I. Yuliani, dkk. Alat Penyimpan Energi Panas Menggunakan Paraffin Sebagai PCM (Phase Change Material) Pada Sistem Pemanas Air Surya. *Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung*, (2016).
- A. Sharma, et al. Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2):318–345. doi:10.1016/j.rser.2007.10.005, (2009).
- A. S. Fleischer. *Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials: Fundamentals and Applications*. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology. doi:10.1007/978-3-319-20922-7, (2015).
- N. R. Vyshak & G. Jilani. Numerical Analysis of Latent Heat Thermal Energy Storage System. *Energy Conversion and Management*, 48(7):2161–2168. doi:10.1016/j.enconman.2006.12.013, (2007).
- M. A. Kibria, et al. Numerical and Experimental Investigation of Heat Transfer in a Shell and Tube Thermal Energy Storage System. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 53:71–78. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.02.023, (2014).
- S. Seddegh, et al. A Comparative Study of Thermal Behaviour of a Horizontal and Axial Shell-and-Tube Energy Storage Using Phase Change Materials. *Applied Thermal Engineering*, 93:348–358, (2016).
- N. Modi, et al. Melting Characteristics of a Longitudinally Finned-Tube Horizontal Latent Heat Thermal Energy Storage System. *Solar Energy*, 230:333–344. doi:10.1016/j.solener.2021.10.043, (2021).
- A. El, et al. Performance Enhancement of Finned Annulus Using Surface Interruptions in Double-Pipe Heat Exchangers. *Energy Conversion and Management*. doi:10.1016/j.enconman.2020.112710, (2020).
- S. Mishra, et al. An Experimental Analysis of Natural Heat Transfer Between Rectangular Solid and Perforated Fins Having Different Perforation Characteristics. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, 10(01):366–371. doi:10.5109/6781094, (2023).
- C. I. Oseghale & E. J. Akpabio. Managing Paraffin Wax Deposition in Oil Wells – Related Problems in Nigerian Oil Fields. *Society of Petroleum Engineers Conference Proceedings*, 551–560. doi:10.2118/163037-MS, (2012).
- G. Alva, et al. Thermal Energy Storage Materials and Systems for Solar Energy Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68:693–706. doi:10.1016/j.rser.2016.10.021, (2017).
- R. A. Young & T. R. Freedman. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Alih Bahasa Endang Juliastuti. Erlangga, Jakarta, (2002).
- E. T. Mahyudi. Pengaruh Penggunaan Sirip Aksial Pada Alat Penukar Kalor Pipa Ganda Terhadap Proses Pelelehan Dan Pembekuan Paraffin Sebagai Penyimpan Energi Thermal. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 13(2). doi:10.24127/trb.v13i2.3602, (2024).