

PENGUKURAN LAJU PELEPASAN KALOR SECARA BERTAHAP PADA TANGKI SOLAR WATER HEATER DENGAN PIPA BERISI VARIASI CAMPURAN PARAFFIN WAX DAN SERBUK TEMBAGA 10% BERAT PADA VARIASI DEBIT AIR 1; 1,5; 2 & 2,5 LPM

Sri Hannadhitya Farhan Yustianto^a, Tito Hadji Agung S.^b, Teddy Nurcahyadi^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia,
^ahanadityafarhan@gmail.com, ^btitoahas@yahoo.com, ^cnurcahyadi@gmail.com

Abstrak

Perkembangan zaman penggunaan air panas untuk mandi sangat pesat digunakan pada hotel, *homestay*, dan lain-lain. Namun, pada penggunaan di hotel masih banyak menggunakan bahan bakar gas LPG yang memanfaatkan bahan bakar fosil. Sehingga diperlukan *Solar Water Heater* (SWH), karena SWH menggunakan panas matahari untuk memanaskan air. Di sisi lain, penggunaan air memiliki kekurangan densitas yang tinggi sehingga memerlukan *Phase Change Material* (PCM) untuk mengurangi densitas yang tinggi pada air. PCM pada penelitian ini menggunakan campuran *paraffin wax* dan serbuk tembaga 10% berat. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui laju penurunan suhu air, laju penurunan suhu PCM, laju pelepasan kalor air, dan laju pelepasan kalor PCM.

Penelitian ini menggunakan empat variasi debit yaitu 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM. Pengambilan data pada penelitian ini dengan cara *discharging* bertahap dimana setiap lima menit air kran dibuka kemudian lima menit ditutup. Pengambilan data dilakukan pada suhu tangki 70 °C dan berakhir ketika suhu bak air mencapai 35 °C. data yang diambil saat proses *discharging* adalah suhu air pada tangki, PCM pada tangki dan air pada bak penampungan.

Hasil penelitian ini adalah variasi 1 LPM memiliki laju penurunan suhu air paling rendah yaitu 8,88 °C/jam dan laju penurunan suhu PCM paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM 8,92 °C/jam. Sedangkan laju pelepasan kalor air paling rendah ada pada 1 LPM yaitu 444,8 J/s dan laju pelepasan kalor PCM paling rendah pada 1 LPM yaitu 33,19 J/s.

Kata Kunci: SWH, PCM, *discharging* bertahap

Abstract

The development of the era of using hot water for bathing is very rapidly used in hotels, homestays, and others. However, the use in hotels still uses a lot of LPG gas fuel that utilizes fossil fuels. So we need a Solar Water Heater (SWH), because SWH uses solar heat to heat water. On the other hand, the use of water has a shortage of high density so it requires a Phase Change Material (PCM) to reduce the high density of water. PCM in this study used a paraffin wax mixture and 10% copper powder. The purpose of this study was to determine the rate of decrease in water temperature, the rate of decrease in PCM temperature, the rate of release of water heat, and the PCM heat release rate.

This study uses four variations of discharge, namely 1; 1.5; 2; and 2.5 LPM. Retrieval of data in this study by means of gradual discharging where every five minutes the tap water is opened then five minutes is closed. Data retrieval is carried out at a tank temperature of 70 °C and ends when the water bath temperature reaches 35 °C. The data taken during the discharging process is the water temperature in the tank, PCM in the tank and water in the reservoir.

The result of this study is that variation 1 of LPM has the lowest temperature water drop rate of 8.88 °C/hour and the lowest rate of decrease in temperature of PCM is in variation 1 LPM 8.92 °C/hour. While the lowest water heat release rate is at 1 LPM, which is 444.8 J/s and the lowest PCM heat release rate is at 1 LPM, which is 33.19 J/s.

Keywords: SWH, PCM, *discharging* discontinuous

1. Pendahuluan

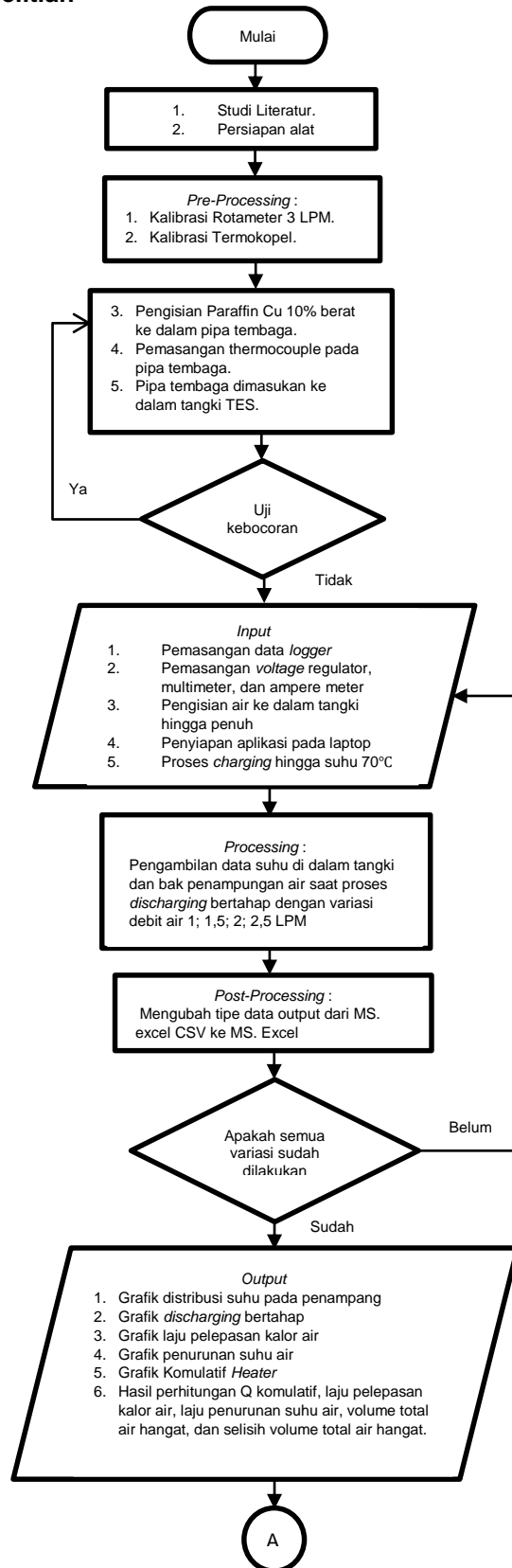
Perkembangan zaman penggunaan air panas untuk mandi sangat pesat digunakan pada hotel, *homestay*, dan lain-lain. Namun, pada penggunaan di hotel masih banyak menggunakan bahan bakar gas LPG yang memanfaatkan bahan bakar fosil. Sehingga diperlukan *Solar Water Heater* (SWH), karena SWH menggunakan panas matahari untuk memanaskan air. Di sisi lain, penggunaan air memiliki kekurangan yaitu densitas yang tinggi sehingga memerlukan *Phase Change Material* (PCM) berisi *paraffin wax* untuk mengurangi densitas yang tinggi pada air. Namun penggunaan *paraffin wax* memiliki kekurangan yaitu nilai konduktifitas termal yang rendah, sehingga perlu ditambah nanomaterial serbuk tembaga fraksi berat 10%. Penambahan serbuk tembaga diharapkan saat proses *discharging* atau *charging* akan lebih efisien. Penambahan serbuk tembaga 10% berat karena ingin mengembangkan dari penelitian sebelumnya (Al-Kayiem, 2016) yang hanya menggunakan fraksi berat 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2%. Penelitian ini menggunakan variasi debit 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM karena mengikuti kebutuhan pemakaian orang untuk sekali mandi sekitar 20 liter. Sedangkan, digunakan *discharging* bertahap karena saat mandi air kran akan diberi jeda atau tidak menyalakan kran dari awal sampai selesai mandi. *Discharging* bertahap sendiri adalah proses pengambilan data dari suhu tinggi ke suhu rendah dimana setiap lima menit air kran dibuka kemudian lima menit ditutup sampai suhu pada bak penampungan air mencapai 35 °C. Oleh sebab itu, penelitian pada SWH diharapkan akan lebih optimal jika menggunakan tangki TES berisi campuran serbuk tembaga dan *paraffin wax* pada proses *discharging* bertahap. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui laju penurunan suhu air, laju penurunan suhu PCM, laju pelepasan kalor air, dan laju pelepasan kalor PCM pada saat proses *discharging* bertahap.

Stephen dkk (1995) melakukan penelitian tentang nanofluid yaitu dengan cara menambahkan tembaga fasa-nano ke dalam HTF konvensional. Hasil penelitian yang diinginkan berupa perbandingan konduktifitas termal sebelum dan setelah penambahan tembaga fasa-nano. Hasil dari penelitian ini yaitu dengan penambahan nanophase tembaga dapat menaikkan nilai konduktifitas termal dan mengurangi daya pertukaran panas secara signifikan.

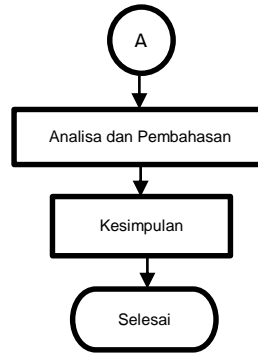
Penelitian yang dilakukan oleh Alomair (2016) yaitu penggunaan PCM campuran *paraffin wax* dengan nanomaterial aluminium oksida dan campuran *paraffin wax* dengan nanomaterial CuO atau *copper oxide*. Penelitian tersebut menggunakan *paraffin wax* tipe RT-18 dan nanomaterial yang digunakan berukuran 50 nm. Hasil dari penelitian tersebut adalah waktu pelelehan campuran aluminium oksida dengan *paraffin wax* lebih lambat jika dibandingkan dengan campuran *copper oxide* dengan *paraffin wax*. Sehingga campuran *paraffin wax* dengan nanomaterial CuO lebih baik digunakan sebagai PCM.

Al-Kayiem (2016) juga melakukan penelitian dengan penambahan nanomaterial, tetapi hanya dengan campuran Cu atau tembaga. Pada penelitian ini nanomaterial Cu pada *paraffin wax* sebagai PCM, bertujuan untuk menaikkan nilai konduktivitas termal yang digunakan untuk tangki TES. Nanomaterial Cu disini menggunakan ukuran 20 nm dan memiliki beberapa fraksi yaitu 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2%. Hasil setelah penelitian yaitu konduktivitas termal naik sebesar 14.0%, 23.9%, 42.5% dan 46.3% sesuai fraksi terkecil sampai terbesar. Penambahan Cu ternyata mempengaruhi pada tingkat efisien suatu PCM, ketika pengujian fraksi 1% mengalami kenaikan efisiensi sebesar 1.7%. Kesamaan dengan penelitian ini adalah sama-sama menggunakan PCM dari campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

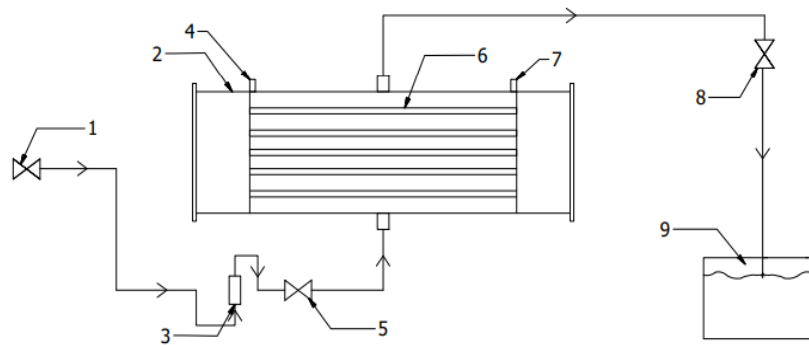
Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2 LPM. Pengambilan data pada penelitian ini dengan cara *discharging* bertahap dimana setiap lima menit air kran dibuka kemudian lima menit ditutup. Pengambilan data dilakukan pada suhu di dalam tangki TES 70 °C dan berakhir ketika suhu bak air mencapai 35 °C. Data yang diambil saat proses *discharging* adalah suhu air pada tangki, PCM pada tangki TES dan air pada bak penampungan.



Gambar 3. Tangki TES

2.1 Skema Penelitian

Skema alat SWH tersebut merupakan skema proses *discharging* yang terdiri dari (1) katup inlet yang berfungsi sebagai masuknya aliran air kran ke tangki, (3) *rotameter* LZT M – 15 *Instrument Company* yang dapat mengukur debit sebesar 0,2 – 3,0 LPM serta 1 – 8 GPM LZT M – 15, (2) Tangki SWH yang berisi kapsul PCM didalamnya, (8) katup outlet yang berfungsi sebagai keluarnya air menuju ke bak penampungan, dan (9) bak penampungan sebagai tempat menampung air yang keluar dari tangki.



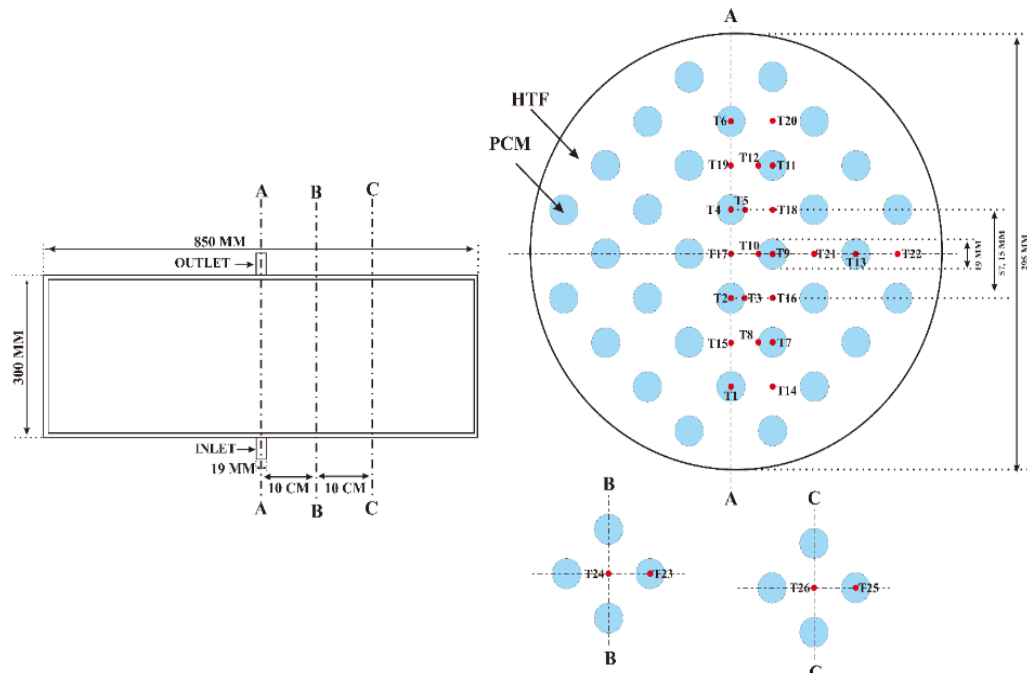
Gambar 4. Skema Proses Discharging Bertahap

Keterangan nomor pada Gambar 4 :

- (1) Keran Air,
- (2) Tangki SWH,
- (3) Rotameter Air,
- (4) Lubang pipa masuknya termokopel,
- (5) Valve masuknya air dari keran ke tangki,
- (6) Tangki berisi pipa tembaga,
- (7) Lubang pipa masuknya termokopel,
- (8) Valve keluaranya air dari tangki ke bak,
- (9) Bak Penampung Air.

2.2 Pemasangan Termokopel

Pemasangan termokopel pada pipa tembaga dilakukan setelah pengisian *paraffin* Cu 10% selesai dengan mengebor pipa tembaga pada bagian yang sudah ditetapkan. Letak pemasangan termocouple mengikuti gambar desain penempatan *termocouple* yang ditunjukkan pada gambar 5.

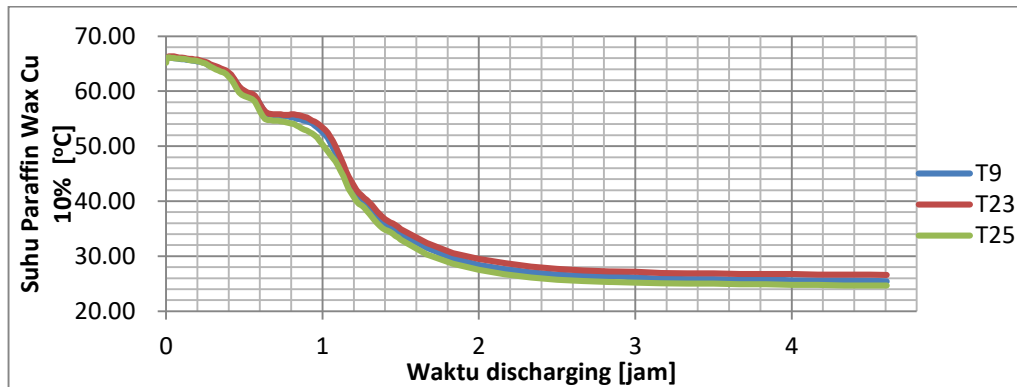


Gambar 5. Peletakan Termokopel

3. Hasil dan Pembahasan

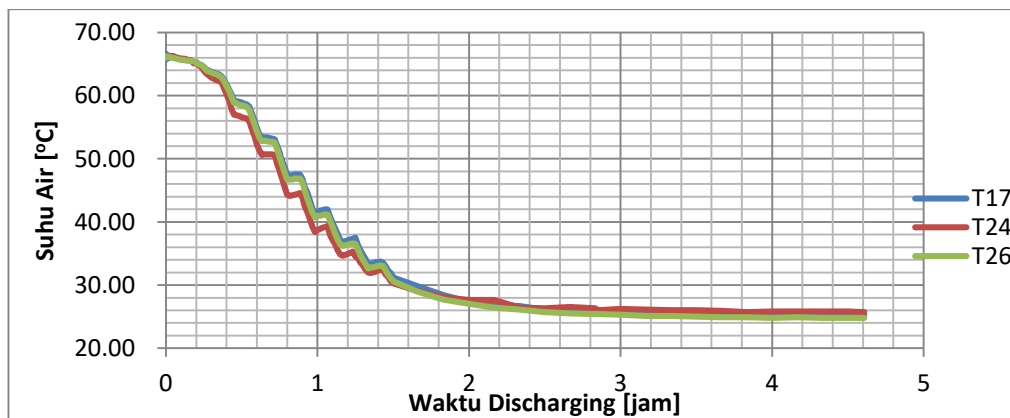
3.1 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 6 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 7.



Gambar 6. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 6. menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,6-0,9 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 55°C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup. Setelah 1 jam pengujian ketiga termokopel mengalami penurunan secara stabil karena fasa lilin berubah menjadi solid saat suhu mencapai 52,86°C.



Gambar 7. Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial

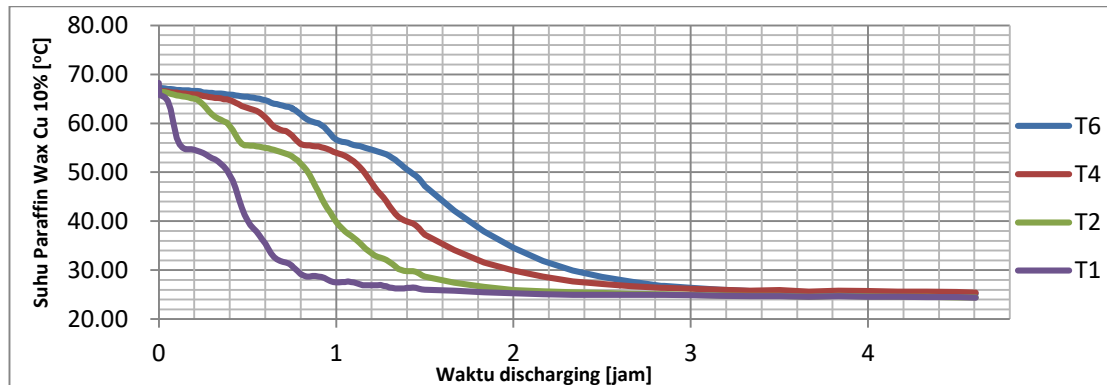
Grafik pada gambar 7. aksial air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik aksial *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Setelah kran air ditutup maka air menyerap panas dari PCM sehingga saat kran dibuka suhu rata-rata mengalami kenaikan 1-2°C pada waktu 0,6-1,4 jam dan setelah waktu 3-4,6 jam suhu dalam tangki konstan pada 25°C mengikuti suhu dari air kran.

Suhu pada ketiga termokopel dari 0-1,5 jam mengalami grafik naik turun karena terjadi pelepasan kalor dan setelah dari 1,5 jam suhu dalam pipa cenderung lebih stabil tidak mengalami kenaikan karena *paraffin wax Cu 10%* berat sudah berubah fasa menjadi solid sempurna. Suhu pada ketiga termokopel dari 0-1,5 jam tidak mengalami

perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil sehingga turbulen aliran air pun kecil. Maka dari itu semakin besar debit yang dipakai maka turbulen aliran air pun semakin besar dan membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

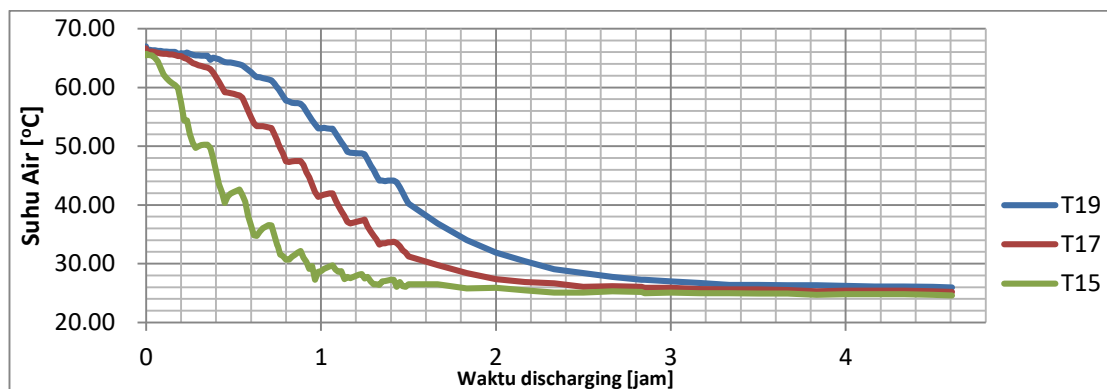
3.2 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 8. sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 9.



Gambar 8. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Suhu pada T1 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 7. Rendahnya T1 dipengaruhi oleh letak pipa tembaga, letak pipa tembaga berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T6 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak pipa tembaga yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T6 pada 0-1 jam berkisar 11 °C, suhu T4 berkisar 14 °C, suhu T2 berkisar 26 °C, dan suhu T1 pada 0-1 jam berkisar 38 °C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T1 selama satu jam.

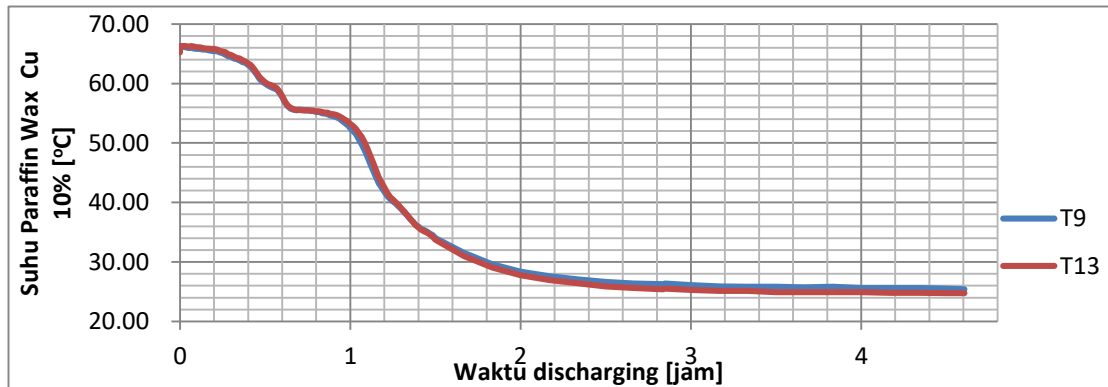


Gambar 9. Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Suhu pada T15 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 9. Rendahnya T15 dipengaruhi oleh letak termokopel, letak T15 berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T19 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T19 pada 0-1 jam berkisar 14 °C, suhu T17 berkisar 25 °C, dan suhu T15 pada 0-1 jam berkisar 39 °C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T15.

3.3 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horisontal

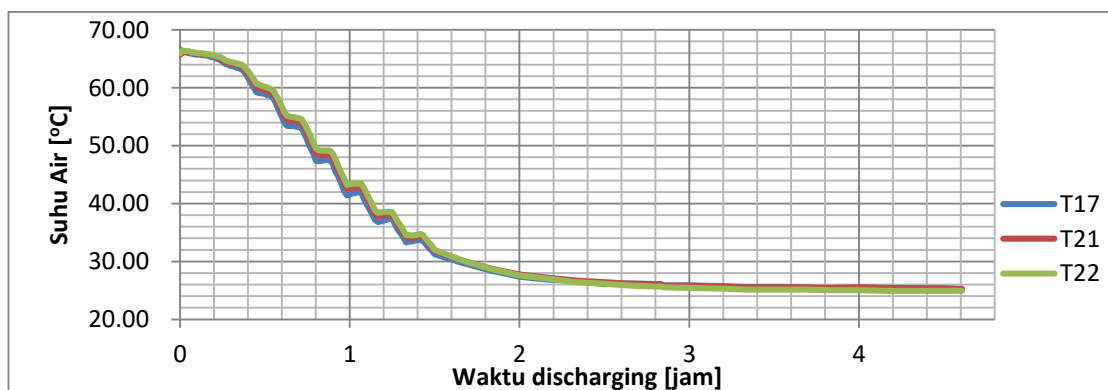
Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah horisontal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 10. sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 11.



Gambar 10. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horisontal

Suhu pada kedua termokopel dari 0-1 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 1 °C dapat dilihat pada gambar 10. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat kedua termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar. Pada waktu 0-1,5 jam suhu T13 lebih tinggi dari T9 namun dari 1,5-4,5 jam T9 lebih tinggi dari T13. Suhu T9 pada awal pengambilan data lebih rendah dari T13 dikarenakan letak pipa tembaga T9 berada di atas *output* air kran, sehingga saat kran dibuka T9 dahulu mengenai air dari T13 yang berada pada samping T9.

Grafik menunjukkan bahwa suhu pada kedua termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,6-0,9 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 56 °C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup.



Gambar 11. Evolusi Suhu Air dalam Arah Horisontal

Grafik pada gambar 11. horisontal air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik horisontal *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Kenaikan suhu terjadi dari 0,6-1,4 jam kemudian ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan dan penurunan suhu stabil sampai selesai pengujian.

Suhu pada ketiga termokopel rata-rata tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai

2°C. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

3.4 Grafik Energi Kumulatif

Energi kumulatif adalah energi yang dilepas saat proses discharging dari awal penelitian hingga selesai dan didapatkan dengan menggunakan persamaan 1.

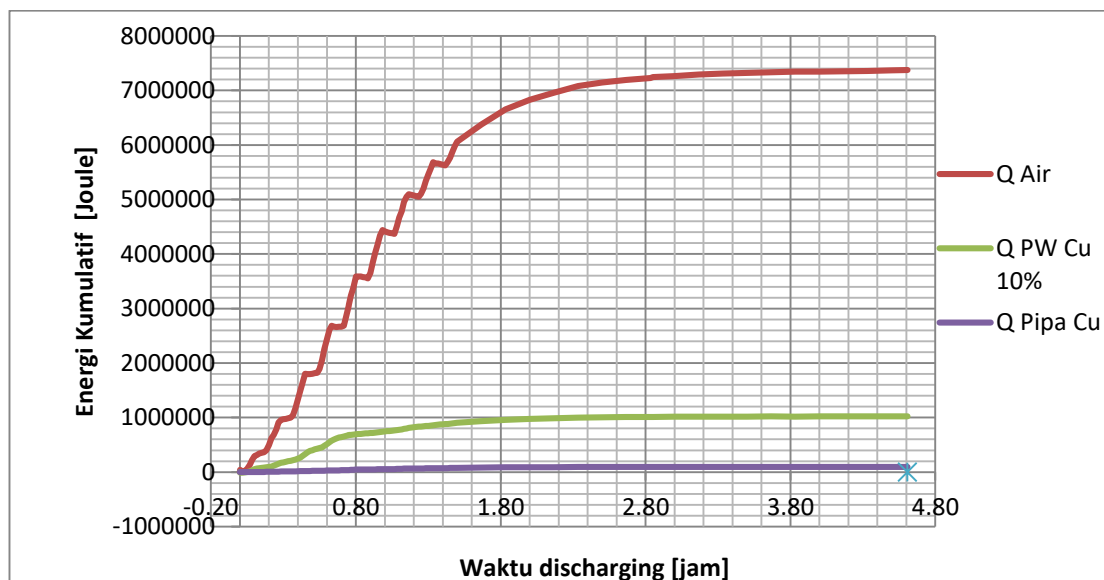
$$Q_{kum} = m \times cp \times \Delta T \quad (1)$$

$$Q_{kum} = 43.13 \times 4180 \times (66.17 - 25.25)$$

$$Q_{kum} = 7,377,020.99 \text{ J}$$

Tabel 1 Energi Kumulatif 1 LPM

Bahan	cp	Massa	T1	T2	ΔT	Q kum
	[J/(kg.K)]					
Air	4180	43.13	66.17	25.25	40.92	7,377,020.99
Pipa Cu	390	5.91	66.72	24.90	41.83	96,338.79
PW+10%Cu	1839	6.7	66.14	25.05	41.09	1,029,378.78



Gambar 12. Grafik Energi Kumulatif

Grafik pada gambar 12. Q pipa Cu lebih rendah dari air dan paraffin wax Cu disebabkan nilai Cp yang rendah yaitu 390 J/kg.K, sedangkan nilai Cp air 4180 J/kg.K dan Cp Paraffin Wax Cu 10% 2000 J/kg.K. Grafik Q Paraffin Wax Cu 10% mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,6 jam sebanyak 5-10 kJ, setelah 0,6 jam laju kenaikan hanya sebesar 2-3 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa Cu mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 0,1-0,3 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-1,8 jam sebesar 70-80 kJ, setelah 1,8 jam relatif mengalami kenaikan lebih stabil.

3.5 Laju Pelepasan Kalor dan Laju Penurunan Suhu

3.5.1.Laju Pelepasan Kalor Air

Laju pelepasan kalor pada air dapat dicari dengan persamaan 2:

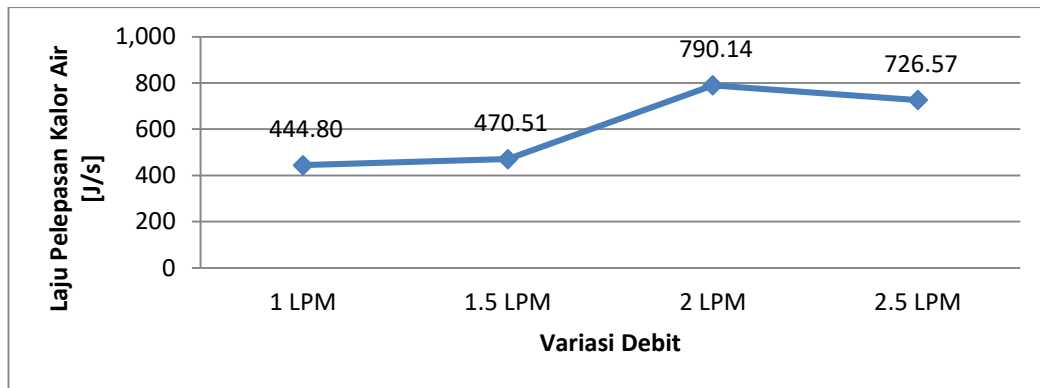
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = \frac{7,377,020.99}{16585}$$

$$\dot{Q} = 444.8 \text{ J/s}$$

Tabel 2. Laju Pelepasan Kalor Air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 10%	Q̇
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66.17	25.25	40.92	16585	7,377,020.99	1,029,378.78	444.80
1.5	66.85	28.15	38.69	14825	6,975,258.37	994,180.17	470.51
2	63.07	26.24	36.84	8405	6,641,135.76	835,264.46	790.14
2.5	65.09	26.03	39.06	9690	7,040,438.55	982,907.99	726.57



Gambar 13. Laju Pelepasan Kalor Air

Grafik pada gambar 13. diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor air paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 444,8 J/s karena memiliki waktu yang paling lama 4,5 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2 LPM yaitu 790,14 J/s karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 65°C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 69°C. Pengambilan data pada variasi 2 LPM mencapai 2,4 jam dan variasi 2 LPM memiliki perubahan suhu paling rendah daripada ketiga variasi lainnya.

3.5.2.Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax + Cu 10% berat

Laju pelepasan kalor pada paraffin wax Cu 10% dapat dicari dengan persamaan 2:

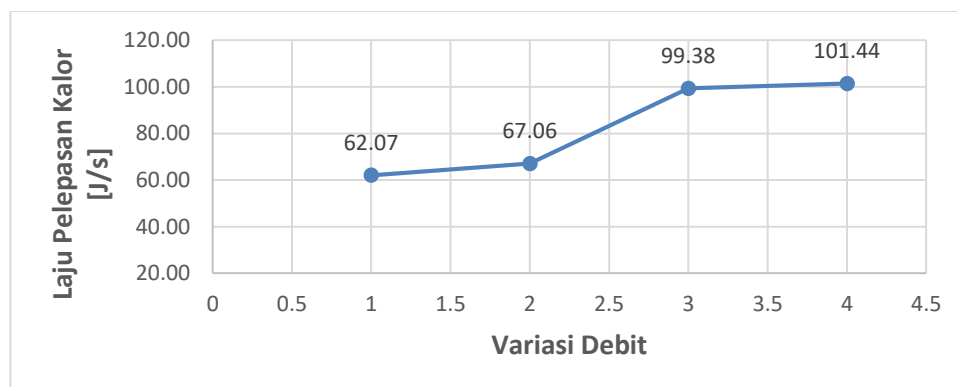
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = \frac{1,029,378.78}{16585}$$

$$\dot{Q} = 62.07 \text{ J/s}$$

Tabel 3. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax Cu 10%

V	T1 PCM	T2 PCM	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 10%	Q̇
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66.14	25.05	41.09	16585	7,377,020.99	1,029,378.78	62.07
1.5	66.14	27.95	38.20	14825	6,975,258.37	994,180.17	67.06
2	62.50	26.07	36.43	8405	6,641,135.76	835,264.46	99.38
2.5	65.44	25.92	39.52	9690	7,040,438.55	982,907.99	101.44



Gambar 14. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax + Cu 10%

Grafik pada gambar 14. diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor pada paraffin wax Cu 10% paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 62,07 J/s. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM yaitu 101,44 J/s. Variasi 2,5 LPM memiliki laju pelepasan terbesar karena menggunakan debit paling besar sehingga memiliki perubahan suhu yang cepat dan mengalami pelepasan kalor 101,44 joule dalam setiap detik.

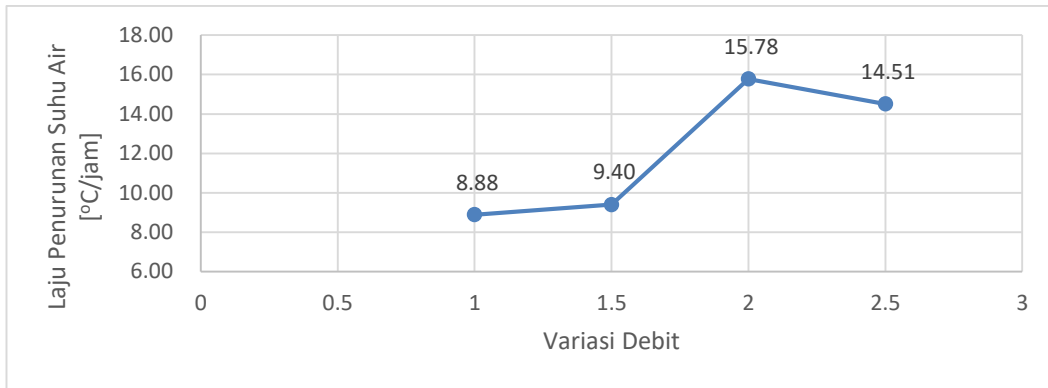
3.5.3.Laju Penurunan Suhu Air

Laju penurunan suhu pada air dapat dicari dengan persamaan 3.

$$\begin{aligned}
 \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} \quad (3) \\
 &= \frac{(66,17 - 25,25) \times 3600}{16585} \\
 &= 8.88 \text{ } ^\circ\text{C/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Laju Penurunan Suhu Air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 10%	Q pipa Cu
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J)
1	66.17	25.25	40.92	16585	7,377,020.99	1,029,378.78	96,338.79
1.5	66.85	28.15	38.69	14825	6,975,258.37	994,180.17	90,554.78
2	63.07	26.24	36.84	8405	6,641,135.76	835,264.46	85,688.62
2.5	65.09	26.03	39.06	9690	7,040,438.55	982,907.99	89,915.17



Gambar 15. Laju Penurunan Suhu Air

Grafik pada gambar 15. diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu air paling rendah 8,88 °C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 4,5 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 15,78 °C/jam pada variasi 2 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 65 °C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 69 °C. Pengambilan data pada variasi 2 LPM mencapai 2,4 jam. Sehingga pada 2 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 15,78 °C dalam setiap jam dan pada 1 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 8,88 °C dalam setiap jam.

3.5.4.Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax + Cu 10% berat

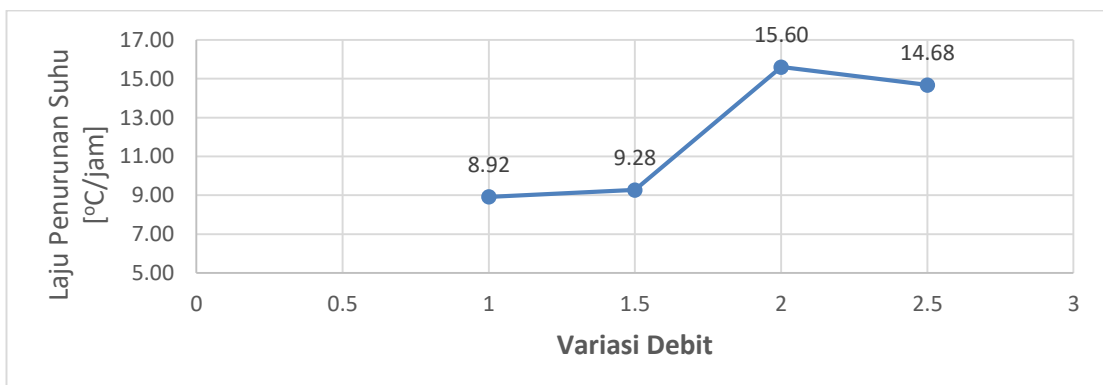
Laju penurunan suhu pada *paraffin wax* Cu 10% dapat dicari dengan persamaan

3.

$$\begin{aligned} \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal}-T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} & (3) \\ &= \frac{(66,14-25,05) \times 3600}{16585} \\ &= 8.92 \text{ } ^\circ\text{C/jam} \end{aligned}$$

Tabel 5. Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax* Cu 10%

V	T1 PCM	T2 PCM	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 10%	Q pipa Cu
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J)
1	66.14	25.05	41.09	16585	7,377,020.99	1,029,378.78	96,338.79
1.5	66.14	27.95	38.20	14825	6,975,258.37	994,180.17	90,554.78
2	62.50	26.07	36.43	8405	6,641,135.76	835,264.46	85,688.62
2.5	65.44	25.92	39.52	9690	7,040,438.55	982,907.99	89,915.17



Gambar 16. Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax* Cu 10%

Grafik pada gambar 16. diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu *paraffin wax Cu 10%* paling rendah 8,92 °C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 4,5 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 15,6 °C/jam pada variasi 2 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 65 °C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 69 °C. Pengambilan data pada variasi 2 LPM mencapai 2,4 jam. Sehingga pada 2 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 15,6 °C dalam setiap jam dan pada 1 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 8,92 °C dalam setiap jam.

4. Kesimpulan

Pengukuran laju pelepasan kalor secara bertahap pada tangki *solar water heater* dengan variasi campuran *paraffin wax* dan serbuk tembaga 10% berat pada debit air 1; 1,5; 2 & 2,5 LPM telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Pada penelitian ini laju pelepasan kalor air paling rendah pada 1 LPM yaitu 444,8 J/s dan laju pelepasan kalor *paraffin wax Cu 10%* paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM 33,19 J/s. Rendahnya nilai laju pelepasan kalor dipengaruhi oleh waktu pengujian, semakin lama makan akan semakin rendah nilainya. Sedangkan variasi 2 LPM memiliki laju pelepasan kalor air terbesar yaitu 790,14 J/s dan laju pelepasan kalor *paraffin wax Cu 10%* pada 2,5 LPM yaitu 54,19 J/s. Sehingga variasi yang ideal untuk digunakan mandi adalah 2,5 LPM karena tidak memerlukan waktu yang lama untuk menunggu suhu pada bak mencapai 35 °C.
2. Laju penurunan suhu air paling rendah pada 1 LPM yaitu 8,88 °C/jam dan laju penurunan suhu *paraffin wax Cu 10%* paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM 8,92 °C/jam. Faktor yang mempengaruhi rendahnya nilai laju penurunan suhu air juga dipengaruhi oleh waktu pengujian, semakin lama makan akan semakin rendah nilainya. Sedangkan variasi 2 LPM memiliki laju penurunan suhu air terbesar yaitu 15,78 °C/jam dan laju penurunan suhu *paraffin wax Cu 10%* terbesar pada 2 LPM yaitu 15,6 °C/jam. Besarnya nilai penurunan suhu pada variasi 2 LPM karena waktu pengujian yang singkat dari ketiga variasi lainnya.

REFERENCES

Journal:

- [1] Anuar Sharif M.K., Al-Abidi A.A., Mat S., Sopian K., Ruslan M.H., Sulaiman M.Y., dan Rosli M.A.M. (2015). *Review Of The Application Of Phase Change Material For Heating And Domestic Hot Water Systems*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 557–568.
- [2] Choi Stephen U. S., dan Eastman J. A., (1995), *Enhancing Thermal Conductivity of Fluids With Nanoparticles*. ASME Internasional Mechanical Engineering Congress and Exposition, 12-17.
- [3] Darwin., (2013). *Analisa Pengaruh Konfigurasi Pipa Pemanas Air Surya Terhadap Efisiensi*. Jurnal ROTOR, 1.
- [4] Gil A., Medrano M., Martorell I., La´zaro A., Dolado P., Zalba B., dan Luisa F.C., (2010). *State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1—Concepts, materials and modellization*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31–55.
- [5] Hasenöhrl T., (2009). *An Introduction to Phase Change Materials as Heat Storage Mediums*. Project Report 2009 MVK 160 Heat and Mass Transport, 1-2.

- [6] Jufrizal, Farel H. Napitupulu, dan Ambarita, H. (2015), *Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar Dengan Penambahan Thermal Energy Storage*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder, 28-36.
- [7] Lefebvre, D. dan Tezel, F.H. (2017). *A Review of Energy Storage Technologies with A Focus on Adsorbtion Thermal Energy Storage Processes for Heating Applications*. Renewable and Sustainable Energy reviews, 116-125.
- [8] Lin S.C., dan Al-Kayiem H.H., (2016). *Evaluation of copper nanoparticles – Paraffin wax compositions for solar thermal energy storage*. Solar Energy, 267–278.
- [9] Nadjib M., Sukamta., Caroko N., dan Hadji, T.A.S. (2015), *Studi Eksperimental Penyimpanan Energi Termal pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya yang Berisi PCM*, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV), KE-76.
- [10] Nadjib, M., (2016), *Penggunaan Paraffin Wax Sebagai Penyimpan Kalor Pada Pemanas Air Tenaga Matahari Thermosyphon*. Rotasi Jurnal Teknik Mesin, 76-85.
- [11] Nadjib, M. dan Suhanan, Ansyah, P.A., Anggara, F. (2017). *Simulasi Numerik Proses Pelelehan Paraffin Wax Pada Unit Penyimpan Energi Termal Tipe Pipa Ganda Konsentrik*, Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII, ISBN 978 602 98412 31 7, 430 – 435.
- [12] Regin, A.F., Solanki S.C. dan Saini J.S. (2008). *Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review*, Renewable and Sustainable Energy reviews, 2438-2458.
- [13] Regin, A.F., Solanki S.C. dan Saini J.S. (2009). *An analysis of a packed bed latent heat thermal energy storage system using PCM capsules: Numerical investigation*. Renewable and Sustainable Energy reviews, 2438-2458.
- [14] Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen C.R. dan Buddhi, D. (2009). *Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials and Applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 318-345.
- [15] Shucikina E. M., Graham M.,Zheng Z., dan Shchukin D. G. (2018). *Nanoencapsulation of phase change materials foradvanced thermal energy storage systems*. This journal is The Royal Society of Chemistry 2018, 4156—4175.
- [16] Trp, A., (2005), *An Experimental and Numerical Investigation of Heat Transfer during Technical Grade Paraffin Melting and Solidification in a Shell-and-Tube Latent Thermal Energy Storage Unit*. Solar Energy, 79, 648–660.
- [17] Wang X.Q., dan Mujumdar A.S. (2007). *Heat transfer characteristics of nanofluids: a review*, International Journal of Thermal Sciences 46, 1–19.