

## Program Studi Teknik Mesin

### Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengukuran Laju Pelepasan Kalor Secara Kontinyu Pada Tangki *Solar Water Heater* Dengan Kapsul Berisi *Paraffin Wax* Dan Serbuk Tembaga 10% Pada Variasi Debit Air 1; 1,5; 2; 2,5 LPM

Judul Naskah Publikasi: Pengukuran Laju Pelepasan Kalor Secara Kontinyu Pada Tangki *Solar Water Heater* Dengan Kapsul Berisi *Paraffin Wax* Dan Serbuk Tembaga 10% Pada Variasi Debit Air 1; 1,5; 2; 2,5 LPM

Nama Mahasiswa: Sepriyadi Panglipuring Tiyas

NIM: 20150130051

Pembimbing 1: Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T.

Pembimbing 2: Teddy Nurcahyadi, S.T., M.Eng.

Hal yang dimintakan pesetujuan \*:

|   |  |                                |                                |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input type="checkbox"/> ..... | <input type="checkbox"/> ..... |
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris   | <input type="checkbox"/> .....                       | <input type="checkbox"/> ..... | <input type="checkbox"/> ..... |

\*beri tanda  di kotak yang sesuai



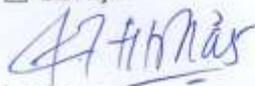
Tanda Tangan

Sepriyadi Panglipuring Tiyas

Tanggal 19 Oktober 2019

### Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui



Tanda Tangan

Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T.

19-Oktober 2019

Tanggal

Tanda Tangan

Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.M., M.Eng.Sc., Ph.D

Tanggal : 21 Oktober 2019

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

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

Muhammad Dzaky Mubarak<sup>a</sup>, Tito Hadji Agung S.<sup>b</sup>, Teddy Nurcahyadi<sup>c</sup>  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia,  
[tiyassepriyadi@gmail.com](mailto:tiyassepriyadi@gmail.com), [titoahas@yahoo.com](mailto:titoahas@yahoo.com), [nurcahyadi@gmail.com](mailto:nurcahyadi@gmail.com)

## Abstrak

Solar Water Heater (SWH) adalah teknologi yang dapat digunakan sebagai pemanas air dengan memanfaatkan energi matahari. SWH secara konvensional menggunakan air sebagai media penyimpan kalor. Penggunaan air memiliki kekurangan diantaranya densitas energinya rendah sehingga memerlukan volume yang besar. Di sisi lain *phase change material* (PCM) memiliki densitas energi yang tinggi. Maka ditambahkan serbuk Cu seberat 10% supaya meningkatkan nilai konduktifitasnya. Penelitian tentang SWH telah banyak dilakukan, tetapi tidak banyak yang membahas tentang laju pelepasan kalor dan laju penurunan suhu pada air dan PCM yang terjadi pada tangki SWH. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui laju pelepasan kalor dan penurunan suhu secara kontinyu pada tangki SWH dengan variasi debit yang diberikan menggunakan metode *discharging* kontinyu.

Penelitian ini menggunakan empat variasi debit yaitu 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM. Pengambilan data pada penelitian ini dengan cara *discharging* kontinyu. 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, suhu PCM pada tangki dan air pada bak penampungan.

Hasil penelitian ini adalah rendahnya penurunan suhu yang dipengaruhi oleh debit air yang kecil. Nilai kalor yang dilepas oleh tangki terendah adalah 762,27 J/s dan nilai tertinggi sebesar 1467,29 J/s. Jadi, semakin besar debit air maka penurunan suhu akan lebih besar. Variasi debit pada 1 LPM memiliki laju penurunan suhu paling rendah yaitu 15,22 °C/jam dan laju penurunan suhu *paraffin wax* Cu 10% paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM 15,41 °C/jam.

**Kata Kunci:** SWH, PCM, *discharging* kontinyu

## Abstract

Solar Water Heater (SWH) is a technology that can be used as a water heater by utilizing solar energy. SWH conventionally uses water as a heat storage medium. The use of water has disadvantages including low energy density so it requires a large volume. On the other hand phase change material (PCM) has a high energy density. Then 10% Cu powder was added to increase the conductivity value. Much research has been done about SWH, but there is not much discussion about the rate of heat release and the rate of temperature reduction in water and PCM that occur in SWH tanks. The purpose of this study was to determine the rate of heat release and decrease in temperature continuously in the SWH tank with a variety of discharges provided using the continuous discharging method.

This study uses four variations of discharge, namely 1; 1,5; 2; and 2.5 LPM. Data collection in this study was carried out by continuous discharging. Data was collected at a tank temperature of 70 °C and ended when the water bath temperature reached 35 °C. Data taken during the discharging process are the temperature of the water in the tank, the temperature of the PCM in the tank and the water in the reservoir.

The results of this study are the low temperature decrease which is affected by small water discharge. The heating value released by the lowest tank is 762.27 J / s and the highest value is 1467.29 J / s. So, the greater the water discharge, the lower the temperature will be greater. The variation of discharge at 1 LPM has the lowest temperature reduction rate of 15.22 °C / hour and the lowest rate of temperature reduction of 10% Cu paraffin wax is at a variation of 1 LPM of 15.41 °C / hour.

**Keywords:** SWH, PCM, *discharging* discontinuous

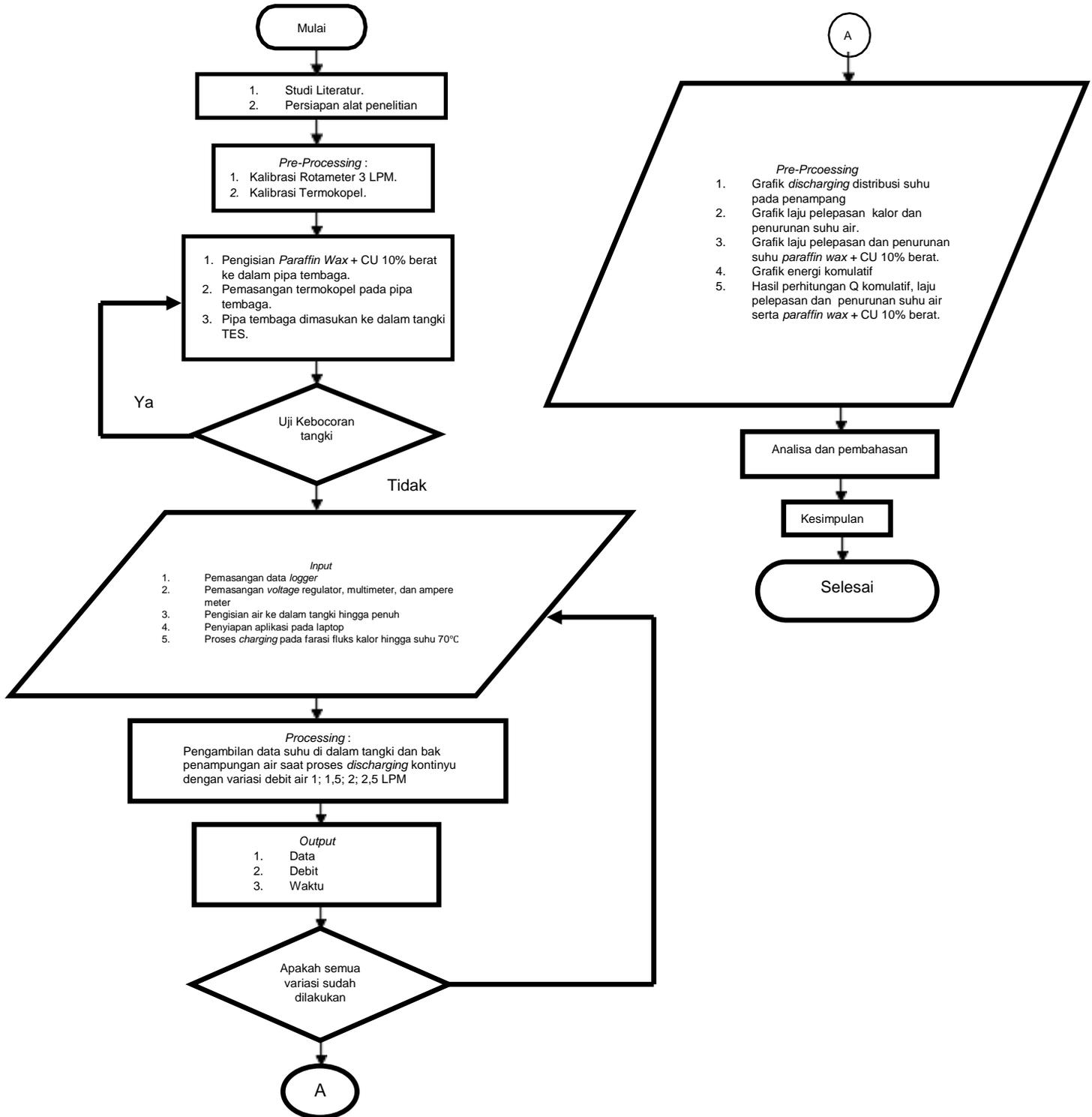
## 1. Pendahuluan

Kebutuhan air hangat banyak dimanfaatkan dalam berbagai keperluan sehari-hari, baik untuk skala rumah tangga maupun skala industri. Saat ini, masyarakat umumnya masih sangat bergantung dengan alat-alat yang praktis dengan memanfaatkan energi listrik, gas, sebagai sumber energi untuk memanaskan air. Pemanfaatan energi tersebut tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pemanas air tenaga surya membutuhkan biaya awal yang tinggi tetapi biaya operasional yang lebih rendah, hal itu berkebalikan dengan menggunakan pemanas air tenaga listrik dan gas. Seiring banyaknya permintaan kebutuhan masyarakat, hal tersebut tentunya membutuhkan sebuah inovasi alat untuk mengatasi kebutuhan tersebut, salah satunya adalah teknologi *Solar Water Heater* (SWH). Peneliti seperti Sudrajat, dkk (2014) telah mengaplikasikan teknologi SWH untuk keperluan sehari-hari tersebut.

*Solar Water Heater* (SWH) adalah teknologi yang dapat digunakan sebagai pemanas air dengan memanfaatkan energi matahari. SWH secara konvensional menggunakan air sebagai media penyimpan kalor sensibel (*sensible heat storage*, SHS), karena air memiliki harga yang murah serta mempunyai sifat *thermal* yang baik, tetapi air memerlukan ruang penyimpanan yang besar, karena nilai densitas energinya rendah Nadjib, dkk (2017). Radiasi sinar matahari mampu mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$  pada saat di tengah terik siang hari Yuliananda, S dkk (2015).

SWH memiliki beberapa metode penyimpanan panas (*thermal energy storage*) yang terdiri dari 3 macam, yaitu *sensible heat storage* (SHS), *latent heat thermal energy storage* (LHTES) serta thermochemical. 3 macam metode tersebut penyimpanan yang paling efektif untuk pengelolaan energi thermal adalah *latent heat thermal energy storage* (LHTES) Navarro dkk, (2016). LHTES memerlukan media penyimpanan energi yaitu *Phase Change Material* (PCM) dimana ketika menyimpan energi thermal atau pelepasan energi dapat berubah fasanya..

## 2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

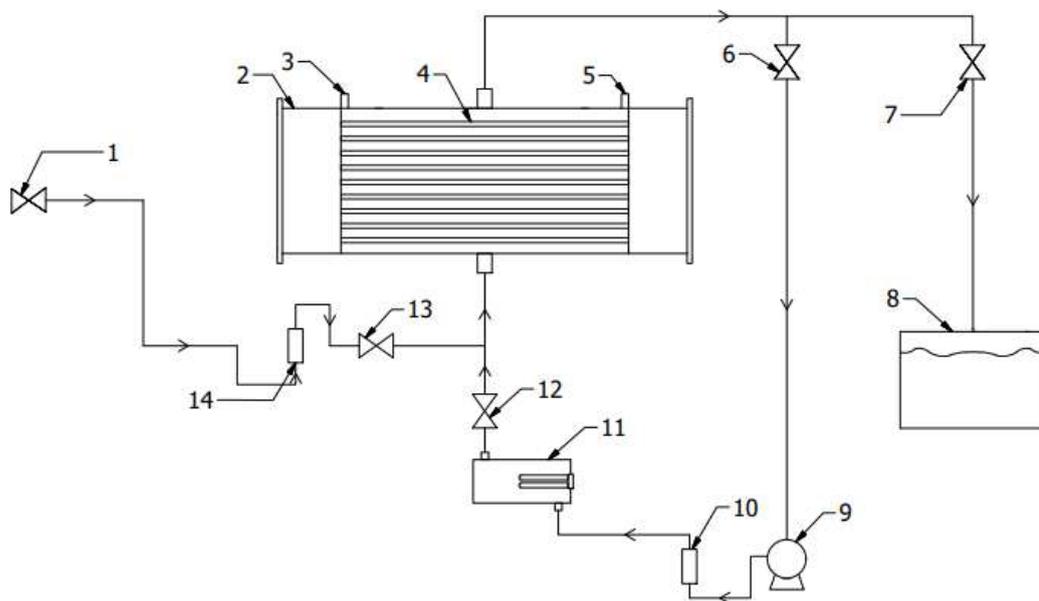
Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM. Pengambilan data pada penelitian ini dengan cara *discharging* kontinyu. Pengambilan data dilakukan pada suhu di dalam tangki TES



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, (14) *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, (7) katup *outlet* yang berfungsi sebagai keluarnya air menuju ke bak penampungan, dan (8) bak penampungan sebagai tempat menampung air yang keluar dari tangki.



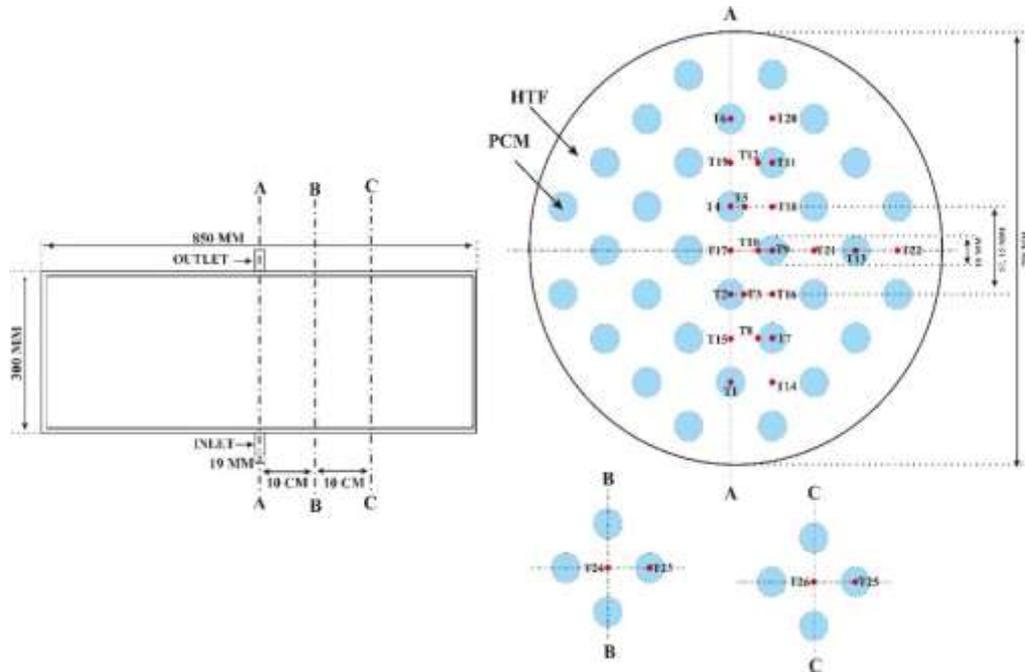
**Gambar 4.** Skema Proses *Discharging* Bertahap

Keterangan nomor pada Gambar 4 :

1. Keran Air,
2. Tangki SWH,
3. Lubang pipa masuknya termokopel,
4. Kapsul PCM,
5. Lubang pipa masuknya termokopel,
6. Valve keluaranya air dari tangki ke pompa,
7. Valve keluaranya air dari tangki ke bak,
8. Bak Penampung Air,
9. Pompa,
10. Rotameter 1000 mLPM
11. Heater,
12. Valve heater,
13. Valve masuknya air dari keran ke tangki,
14. Rotameter 3 LPM.

## 2.2 Pemasangan Termokopel

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

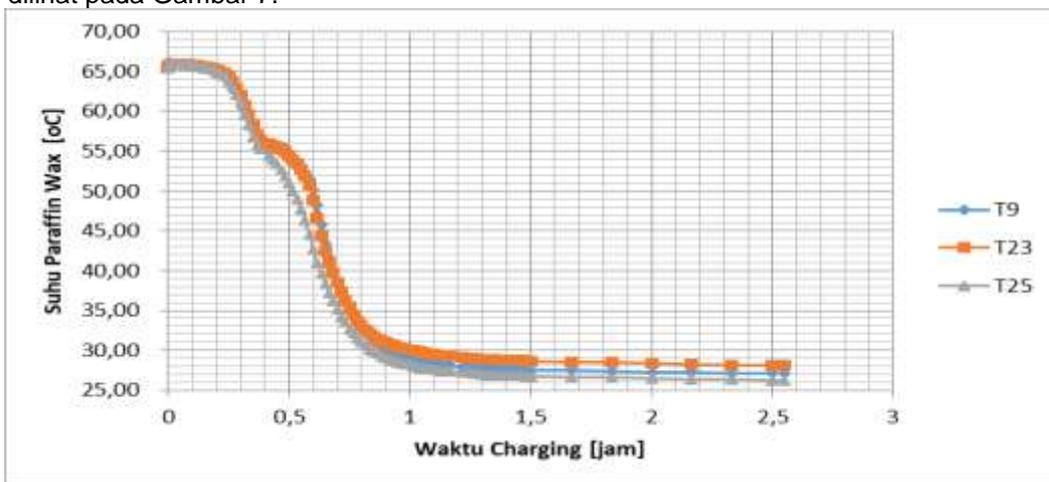


Gambar 5. Peletakan Termokopel

### 3. Hasil dan Pembahasan

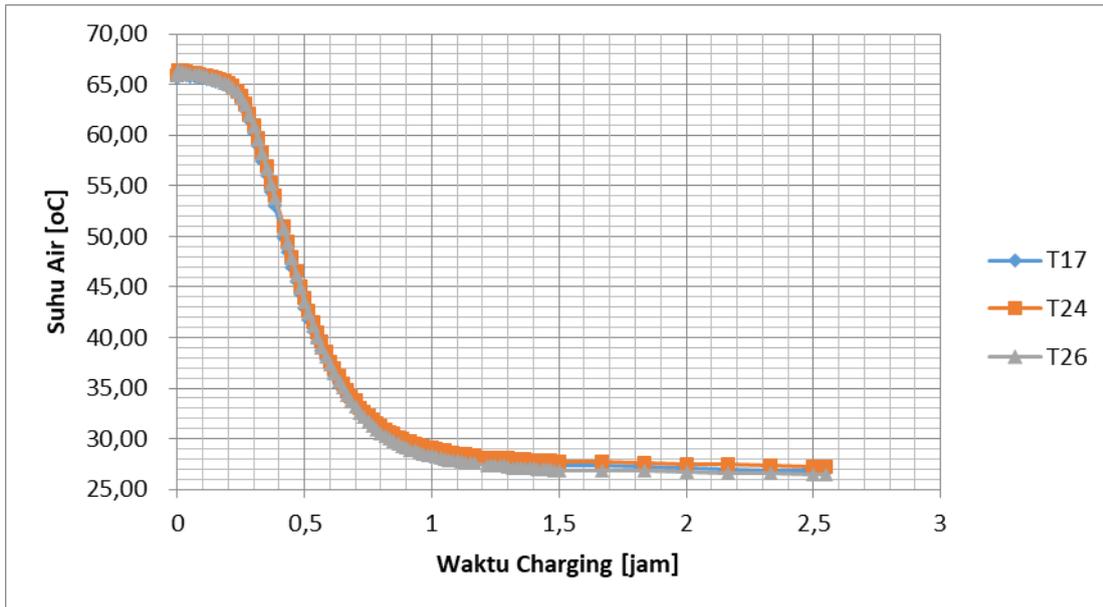
#### 3.1 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Hasil 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 dan 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. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalor dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan. Setelah 0,2 jam suhu ketiga termokopel mengalami penurunan secara stabil karena menggunakan proses discharging continue. Perbedaan suhu ketiga termokopel tidak terlalu signifikan karena menggunakan debit yang kecil, semakin besar debit maka perbedaan suhu semakin besar.

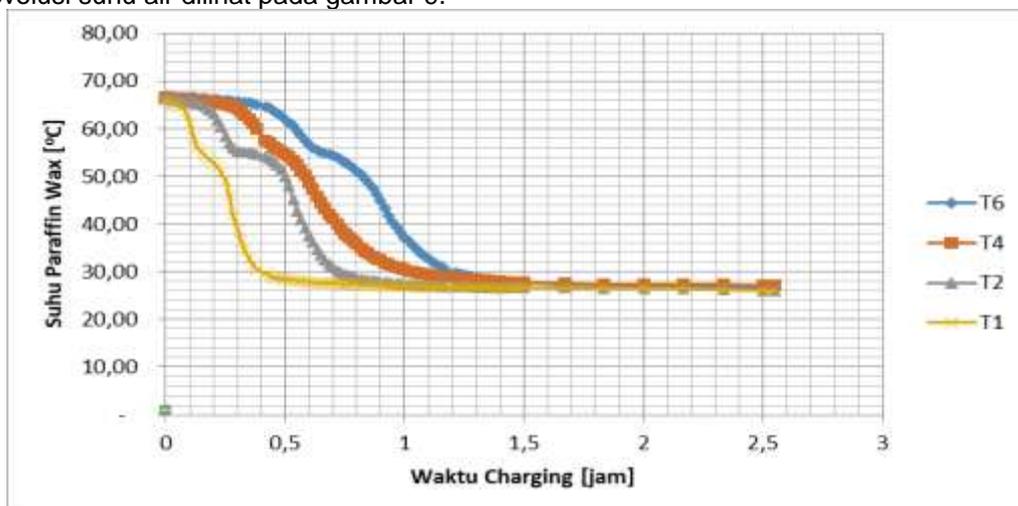


**Gambar 7.** Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 7. menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan. Peristiwa ini disebabkan karena air tidak menyerap kalor secara maksimal dari PCM sehingga suhu air tidak mengalami kenaikan. Setelah 0,2 jam suhu ketiga termokopel mengalami penurunan secara stabil karena menggunakan proses discharging continue. Perbedaan suhu ketiga termokopel tidak terlalu signifikan karena menggunakan debit yang kecil, semakin besar debit maka perbedaan suhu akan lebih besar.

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

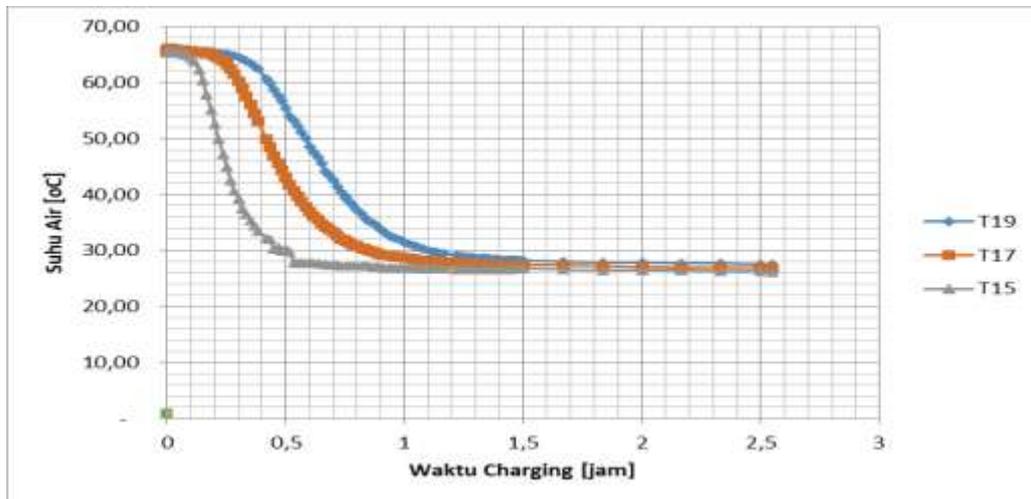
Hasil pengujian pada variasi 1 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran paraffin wax dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dapat dilihat pada gambar 8. sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 9.



**Gambar 8.** Evolusi Suhu Campuran PW + 20% Cu dalam Arah Vertikal

Suhu pada T1 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya. 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 0-0,5 jam berkisar 38 °C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T1 selama satu jam.

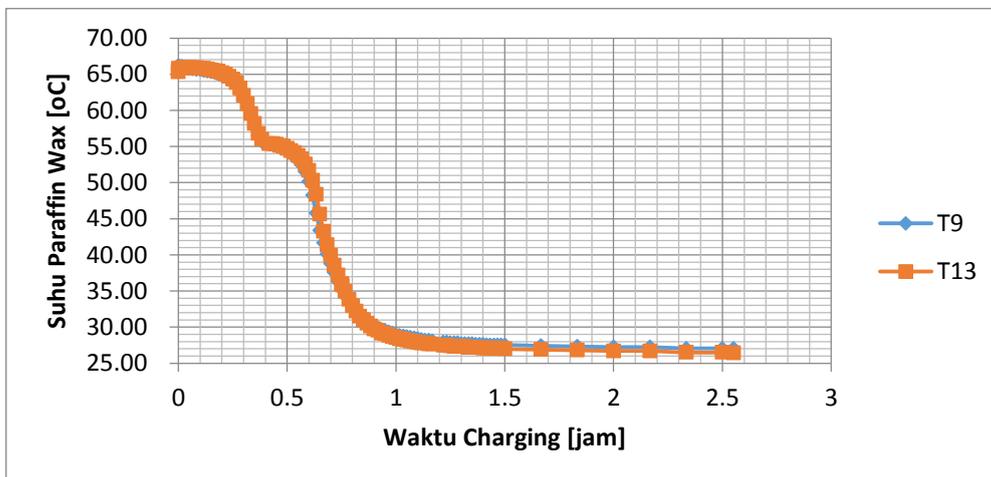


**Gambar 9.** Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Suhu pada T15 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya. 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 0-0,5 jam berkisar 7 °C, suhu T17 berkisar 27 °C, dan suhu T15 berkisar 37 °C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T15.

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

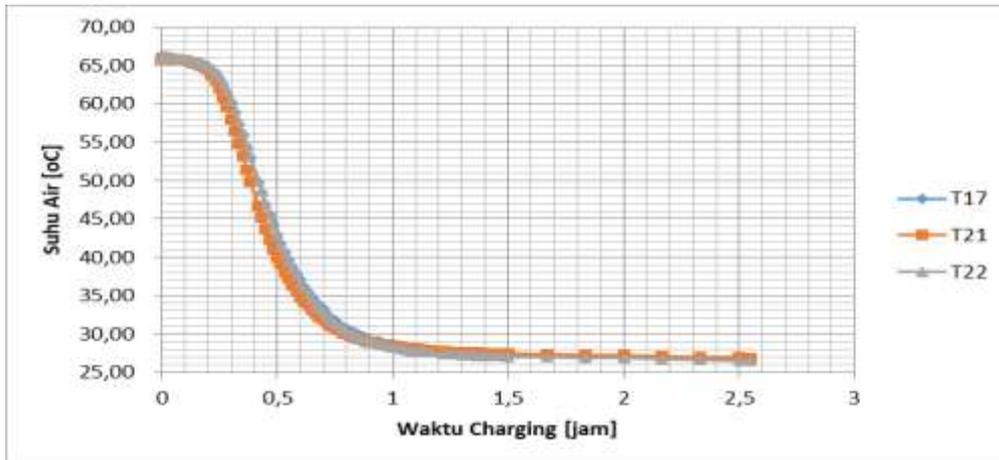
Hasil pengujian pada variasi 1 LPM arah horisontal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran paraffin wax dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 10 dan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 11.



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

Suhu pada kedua termocuple dari 0-0,3 jam mengalami penurunan suhu yang relatif sama. Tetapi setelah 0,3 jam suhu pada T13 mengalami penurunan suhu yang lebih

lama dibanding T9 dan membentuk lengkungan pada suhu 55°C sampai pada suhu 29°C kedua suhu pada T9 dan T13 mulai stabil. Peristiwa ini dikarenakan air dari kran masuk melalui tengah tengki sehingga menyebabkan air panas yang berada ditengah bergeser berpindah ke sisi luar tengki sehingga suhu pada T13 lebih panas. Pada 0,8 jam – selesai tidak ada kenaikan suhu dan penurunan suhu sudah stabil karena PCM sudah tidak melepas kalor lagi.



**Gambar 11.** Evolusi Suhu Air dalam Arah Horisontal

. Grafik horisontal air cenderung terdapat kenaikan suhu dari pada grafik horisontal *paraffin wax* Cu 10%. Penurunan grafik dipengaruhi oleh proses *discharging* saat air kran selalu dihidupkan. Penurunan suhu juga di pengaruhi karena kran air yang selalu terbuka sehingga air tidak menyerap panas dari PCM. Ketiga termokopel mampu stabil pada waktu 1,5 jam di suhu 26°C.

. 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.

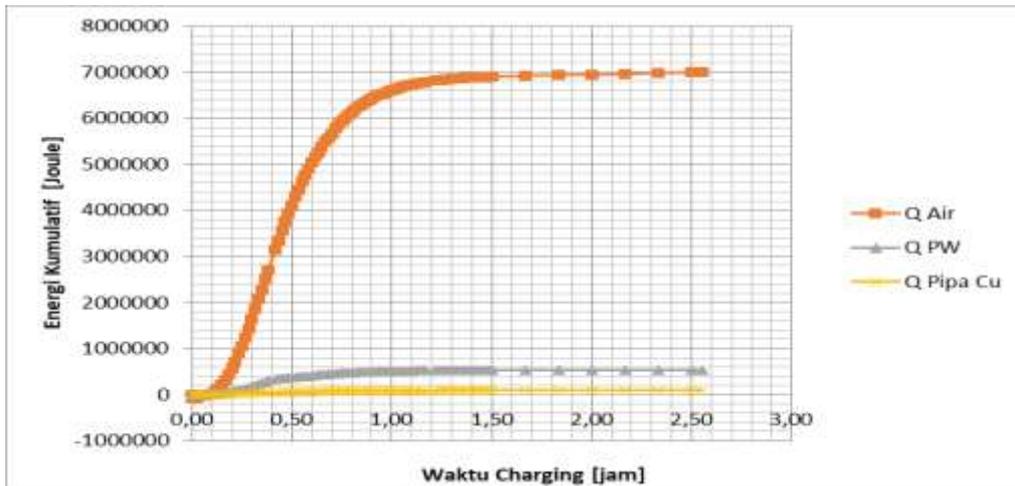
$$Q_{kum} = m \times c_p \times \Delta T$$

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

$$Q_{kum} = 7,377,196.72 \text{ J}$$

Tabel 1. Energi Kumulatif 1 LPM

| Bahan    | cp         | Massa | T1    | T2    | ΔT    | Q kum        |
|----------|------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
|          | [J/(kg.K)] | [kg]  | °C    | °C    | °C    | (J)          |
| Air      | 4180       | 43,13 | 65,66 | 26,83 | 38,83 | 7.377.196,72 |
| Pipa Cu  | 390        | 5,91  | 65,91 | 26,50 | 39,41 | 90.782,66    |
| PW+10%Cu | 1839       | 3,50  | 65,98 | 26,66 | 39,32 | 537.712,98   |



Gambar 12. Grafik Energi Kumulatif

. Grafik pada 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 % 1839 J/kg.K. Grafik Q *Paraffin Wax* Cu 10% mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,4 jam sebanyak 2-5 kJ, setelah 0,5 jam laju kenaikan hanya sebesar 1-2 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa Cu mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 0,1-0,2 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-1,2 jam sebesar 68-70 kJ, setelah 1,2 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:

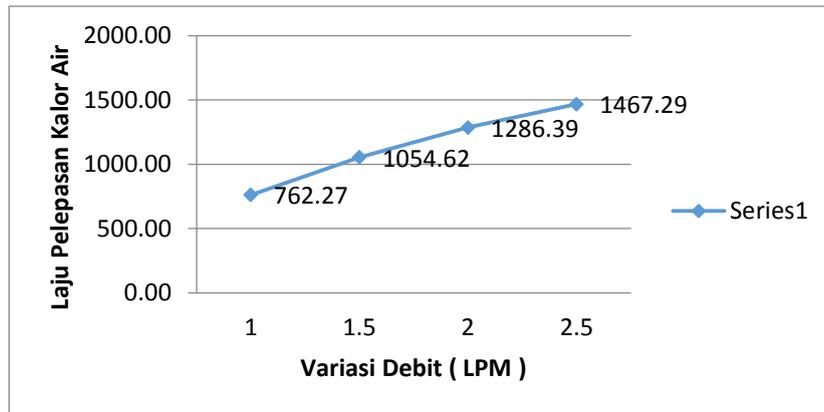
$$Q = \frac{Q \text{ kumulatif}}{t_{\text{total}}} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = \frac{7,001,464}{9185}$$

$$\dot{Q} = 762.27 \text{ J/s}$$

Tabel 2 Laju Pelepasan Kalor Air

| V   | T1 Air | T2 Air | $\Delta$ | $\Delta$ | Q kum Air | Q Paraffin Cu 10% | .       |
|-----|--------|--------|----------|----------|-----------|-------------------|---------|
| LPM | °C     | °C     | °C       | (detik)  | (J)       | (J)               | (J/s)   |
| 1   | 65.66  | 26.83  | 40.92    | 9185     | 7,001,464 | 537,713           | 762.27  |
| 1.5 | 65.85  | 30.52  | 35.33    | 6040     | 7,184,572 | 540,784           | 1054.62 |
| 2   | 66.21  | 25.36  | 40.85    | 5725     | 7,364,567 | 554,409           | 1286.39 |
| 2.5 | 67.18  | 26.60  | 40.58    | 5050     | 7,317,058 | 570,365           | 1467.29 |



**Gambar 13.** Laju Pelepasan Kalor Air

Grafik pada gambar 13. Grafik diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 2:33 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2,5 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 2,5 LPM mencapai 1,24 jam.

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

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

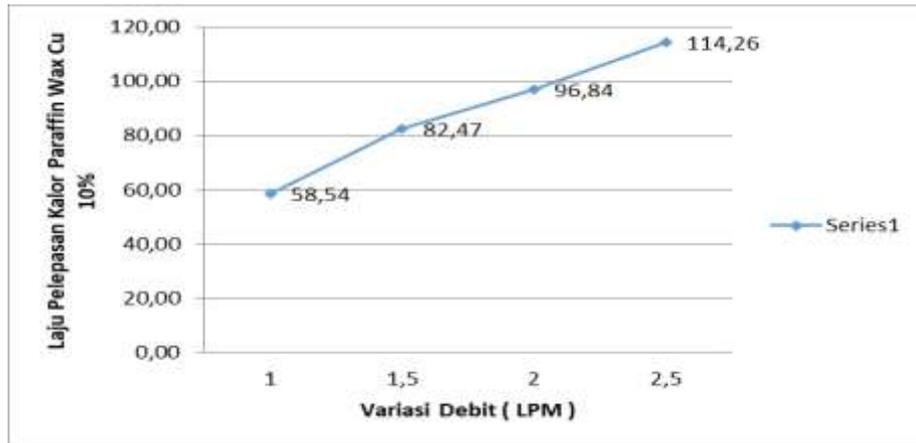
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \tag{2}$$

$$\dot{Q} = \frac{537,713}{9185}$$

$$\dot{Q} = 58,54 \text{ J/s}$$

Tabel 3. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax Cu 10%

| V          | T1<br>PCM | T2<br>PCM | Δ     | Δ       | Q kum Air | Q Paraffin Cu<br>10% | .      |
|------------|-----------|-----------|-------|---------|-----------|----------------------|--------|
| LPM        | °C        | °C        | °C    | (detik) | (J)       | (J)                  | (J/s)  |
| <b>1</b>   | 65.91     | 26.50     | 40.92 | 9185    | 7,001,464 | 537,713              | 58.54  |
| <b>1.5</b> | 65.69     | 30.36     | 35.33 | 6040    | 7,184,572 | 540,784              | 82.47  |
| <b>2</b>   | 66.13     | 25.08     | 40.85 | 5725    | 7,364,567 | 554,409              | 96.84  |
| <b>2.5</b> | 67.77     | 26.54     | 40.58 | 5050    | 7,317,058 | 570,365              | 114.26 |



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

Grafik diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor pada paraffin wax Cu 10% paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 58,54 J/s. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM yaitu 114,26 J/s. Variasi 2,5 LPM memiliki laju pelepasan terbesar karena menggunakan debit paling besar sehingga memiliki perubahan suhu yang cepat.

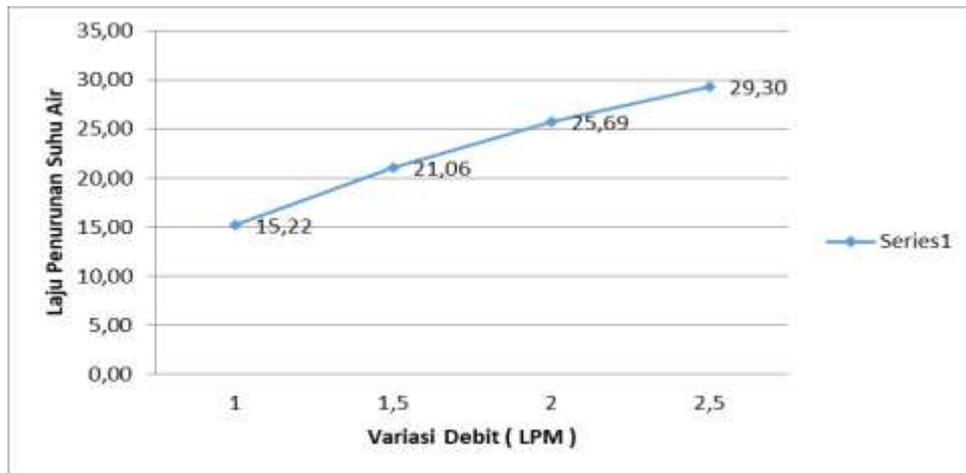
### 3.5.3 Laju Penurunan Suhu Air

Laju penurunan suhu pada air dapat dicari dengan persamaan 3.

$$\begin{aligned}
 \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} \quad (3) \\
 &= \frac{(65,66 - 26,83) \times 3600}{9185} \\
 &= 15,22 \text{ } ^\circ\text{C/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Laju Penurunan Suhu Air

| V   | T1 Air           | T2 Air           | $\Delta$         | $\Delta$ | Q kum Air | Q Paraffin Cu 10% | Q pipa Cu |
|-----|------------------|------------------|------------------|----------|-----------|-------------------|-----------|
| LPM | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | (detik)  | (J)       | (J)               | (J)       |
| 1   | 65.66            | 26.83            | 40.92            | 9185     | 7,001,464 | 537,713           | 90,783    |
| 1.5 | 65.85            | 30.52            | 35.33            | 6040     | 7,184,572 | 540,784           | 92,281    |
| 2   | 66.21            | 25.36            | 40.85            | 5725     | 7,364,567 | 554,409           | 94,557    |
| 2.5 | 67.18            | 26.60            | 40.58            | 5050     | 7,317,058 | 570,365           | 94,965    |



Gambar 15. Laju Penurunan Suhu Air

Grafik pada gambar 15. diatas

Grafik diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu air paling rendah 15,22°C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 2:33 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 29.30°C/jam pada variasi 2,5 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2,5 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 2,5 LPM mencapai 1:24 jam.

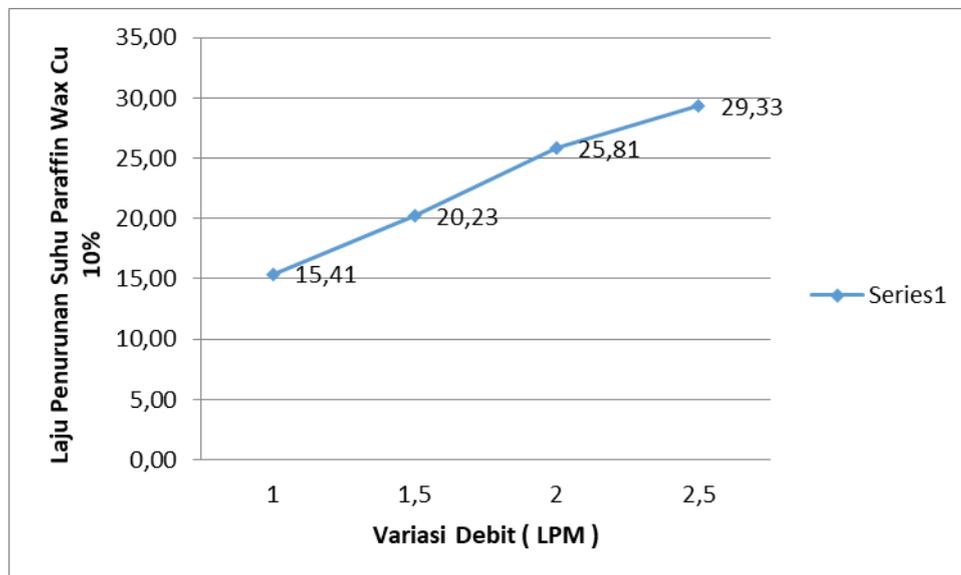
### 3.5.4 Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax + Cu 10% berat

Laju penurunan suhu pada *paraffin wax* Cu 10% dapat dicari dengan persamaan 4.

$$\begin{aligned}
 \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} \quad (4) \\
 &= \frac{(65,91 - 26,50) \times 3600}{9185} \\
 &= 15,41 \text{ } ^\circ\text{C/jam}
 \end{aligned}$$

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   | 65.91  | 26.50  | 39.41 | 9185    | 7,001,464 | 537,713           | 65.91     |
| 1.5 | 65.69  | 30.36  | 35.33 | 6040    | 7,184,572 | 540,784           | 65.69     |
| 2   | 66.13  | 25.08  | 41.05 | 5725    | 7,364,567 | 554,409           | 66.13     |
| 2.5 | 67.77  | 26.54  | 41.23 | 5050    | 7,317,058 | 570,365           | 67.77     |



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

Grafik diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu paraffin wax Cu 10% paling rendah 15.41 °C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 2:33 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 29.33 °C/jam pada variasi 2,5 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2,5 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 2,5 LPM mencapai 1:24 jam.

#### 4. Kesimpulan

Pengukuran laju pelepasan kalor dan penurunan suhu secara kontinyu pada tangki solar water heater dengan kapsul berisi paraffin wax dengan variasi serbuk tembaga 10% pada debit air 1; 1,5; 2; 2,5 LPM telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Laju penurunan suhu terendah terjadi pada debit 1 LPM, besar laju penurunan suhu air sebesar 15,22 °C/jam dan pada PCM sebesar 15,41 °C/jam. Sedangkan laju penurunan suhu air tertinggi terjadi pada debit air 2,5 LPM. Laju penurunan suhu air sebesar 29,30 °C/jam dan pada PCM sebesar 29,33 °C/jam. Jadi dapat disimpulkan bahwa besar debit air dapat mempengaruhi besar kecilnya laju penurunan suhu, semakin besar debit air yang digunakan maka laju penurunan suhu yang terjadi semakin besar pula
2. Laju pelepasan kalor terendah terjadi pada debit air 1 LPM, besar laju pelepasan kalor pada air sebesar 762,27 KJ/s dan pada PCM sebesar 58,54 KJ/s. Sedangkan laju pelepasan kalor terbesar terjadi pada debit air 2,5 LPM, besar pelepasan kalor air sebesar 1.467,29 KJ/s dan pada PCM sebesar 114,26 KJ/s. Jadi dapat disimpulkan bahwa besar debit air dapat mempengaruhi besar kecilnya laju pelepasan kalor, semakin besar debit air yang digunakan maka laju pelepasan kalor yang terjadi semakin besar pula.

## REFERENCES

### Journal:

- [1] Bellan, S., Aguilar, G.J., Romero, M., Rahman, M.M., Goswami, D.Y., Stefanakos, E.K. dan Couling, D., 2014. "Numerical Analysis of Charging and Discharging Performance of A Thermal Energy Storage System with Encapsulated Phase Change Material". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 71, pp. 481-500.
- [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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [5] Yuliananda, S., Sarya, G., dan Hastijanti R.A.R. ,2015. "Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya". *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, 1(2), pp. 193-202.