

# 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 Dengan 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 Dengan Variasi Debit Air 1; 1,5; 2; 2,5 LPM

Nama Mahasiswa: Yudha Bagus Alkhahar

NIM: 20150130144

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

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

Hal yang dimintakan persetujuan \*:

- |   |  |                                |                                |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|
| <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

Yudha Bagus Alkhahar

27-8-2019

Tanggal

### Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui



Tanda Tangan

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

24-8-2019

Tanggal



Tanda Tangan

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

28/8/2019

Tanggal

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 PARAFFIN WAX DENGAN VARIASI DEBIT AIR 1; 1,5; 2 & 2,5 LPM

Yudha Bagus Alkhahar<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,

<sup>a</sup>[yudhabagus49@gmail.com](mailto:yudhabagus49@gmail.com), <sup>b</sup>[titoahas@yahoo.com](mailto:titoahas@yahoo.com), <sup>c</sup>[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 penyimpanan 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. 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 *discharging* kontinyu dilakukan dengan mengalirkan air ke dalam tangki secara kontinyu pada variasi debit 1; 1,5; 2; 2,5 LPM dari suhu awal 70°C dalam tangki sampai 35°C suhu dalam bak penampung. Data yang tercatat akan diolah menjadi grafik *discharging* evolusi suhu pada penampang, laju pelepasan kalor air, laju penurunan suhu air, laju pelepasan kalor PCM, dan laju penurunan suhu PCM.

Hasil penelitian didapatkan bahwa laju pelepasan air terendah yaitu dengan debit 1 LPM. Nilai laju pelepasan air 688,74 J/s dan laju pelepasan PCM 53,93 J/s, sedangkan nilai laju pelepasan air terbesar yaitu dengan debit 2,5 LPM. Nilai laju pelepasan air 1357,92 J/s dan laju pelepasan PCM 104,33 J/s. Laju penurunan suhu air terendah yaitu dengan debit 1 LPM. Nilai laju penurunan suhu air 13,75 °C/jam dan laju penurunan suhu PCM 13,9 °C/jam, sedangkan nilai laju penurunan suhu air terbesar yaitu dengan debit 2,5 LPM. Nilai laju penurunan suhu air 27,11 °C/jam dan laju penurunan suhu PCM 27,42 °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 harnessing the sun's energy. SWH used water as a storage device normally. Water use has a shortage of them low energy density, requiring substantial volume. In the other side of *phase change material* (PCM) has a high energy density. The aim of this study was to find out the release rate of the calor and the continuous drop in the SWH tank with the discharge variations administered using the paralytic continuous method.

*Discharging* research of continuous is done by discharging water into tanks periodically at variety discharge 1; 1,5; 2; 2,5 from 70°C in tank to 35°C in a bathtub. ecoreded data will be applied to a proposed temperature evolution chart on viewer, the rate of release of water, the rate of drop in water temperature, the rate of release of the PCM, the rate of drop of the PCM.

Research has learned that the lowest release rate of water would be by 1 LPM. Release rate 668,74 J/s and the rate of release PCM 53,93 J/s, as the largest rate of release is by a charge of 2,5 LPM. Value of release rate 1357,92 J/s and the rate of release of PCM 104,33 J/s. The lowest rate of water temperature drops is by discharge 1 LPM. Rate of drop in water temperature 13,75 °C/hour and the rate of lower PCM temperature 13,9 °C/hour, including the biggest rate of temperature drop by about 2,5 LPM discharges. Rate of water drops 27,11 °C/hour and rate of PCM drop 27,42 °C/hour.

**Keywords:** SWH, PCM, *discharging* continuous

---

## 1. Pendahuluan

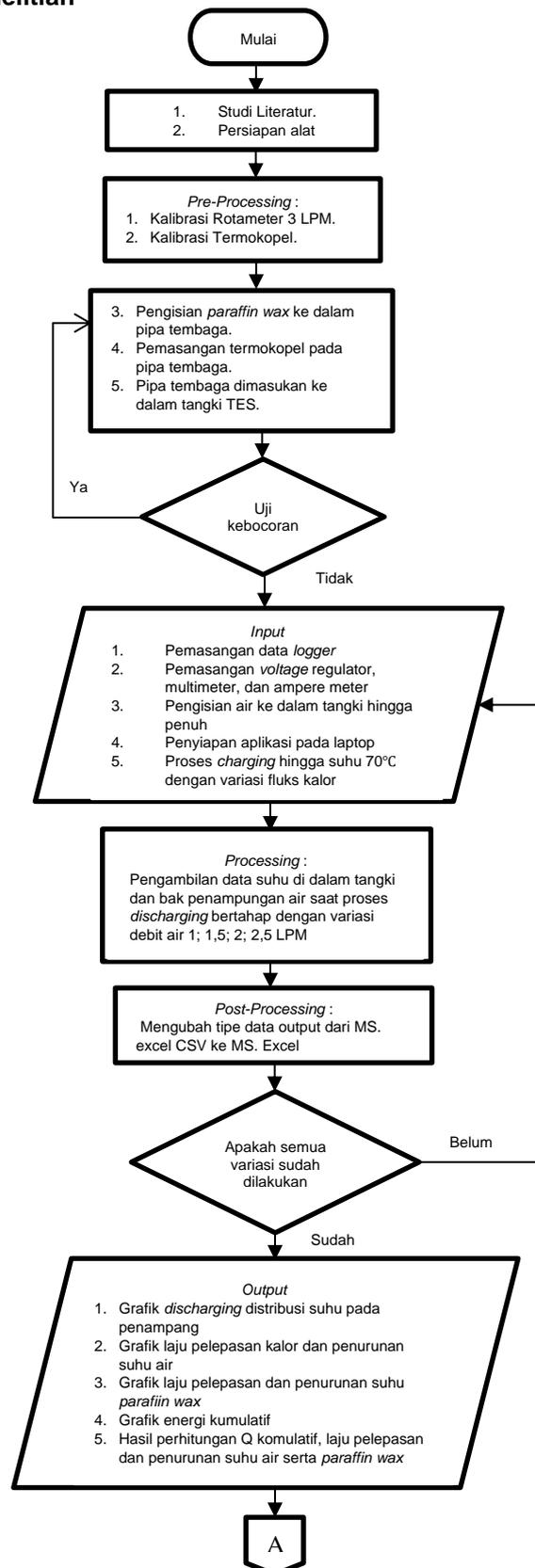
Kebutuhan air hangat banyak dimanfaatkan dalam berbagai keperluan sehari-hari seperti mandi, cuci piring baik untuk skala rumah tangga maupun skala perhotelan. Saat ini, masyarakat umumnya masih menggunakan dan sangat bergantung dengan alat-alat yang praktis guna memanfaatkan energi listrik, gas, serta surya 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 untuk memenuhi 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 yang salah satunya untuk keperluan mandi. Kebutuhan air untuk keperluan mandi per orang dalam sehari sebesar 20 liter (Susana, 2003).

*Solar Water Heater* (SWH) adalah teknologi yang dapat digunakan sebagai pemanas air dengan memanfaatkan energi matahari. SWH secara konvensional menggunakan air sebagai media penyimpanan 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). Saat tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 W/m<sup>2</sup> (Yuliananda, dkk 2015).

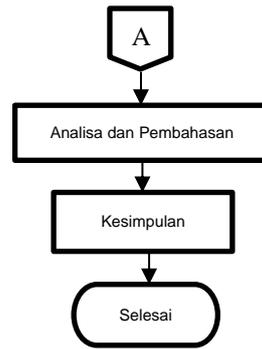
SWH memiliki beberapa metode penyimpanan panas (*thermal energy storage*) yang terdiri dari 3 macam, yaitu *sensible heat storage* (SHS), *latent heat thermal energy storage* (LHTES) serta *thermochemical*. Dari 3 macam metode tersebut penyimpanan yang paling efektif untuk pengelolaan energi thermal 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 fasenya.

Material PCM yang digunakan pada penelitian ini adalah *paraffin wax* dan serbuk tembaga (Cu), tetapi pada penelitian ini hanya menggunakan PCM *paraffin wax*. *Paraffin wax* merupakan kategori penyimpan energi jenis LHS (*latent heat storage*) / LHTES (*latent heat thermal energy storage*) karena sifat *paraffin wax* memiliki densitas energi tinggi (~ 200 kJ/kg), namun konduktivitas termalnya rendah (~ 0,2 W/m.°C) dan *melting point* dari *paraffin wax* sekitar 8 hingga 106 °C, sifat termalnya stabil dibawah 500°C (Nadjib dkk, 2015), serta mampu bertahan selama 1500 siklus thermal (Sharma dkk, 2009). Material *paraffin wax* memiliki konduktivitas thermal yang rendah, maka *heat transfer* saat proses *charging* dan *discharging* akan berlangsung lama. Hal ini menjadi kasus dasar untuk dilakukannya penelitian.

## 2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

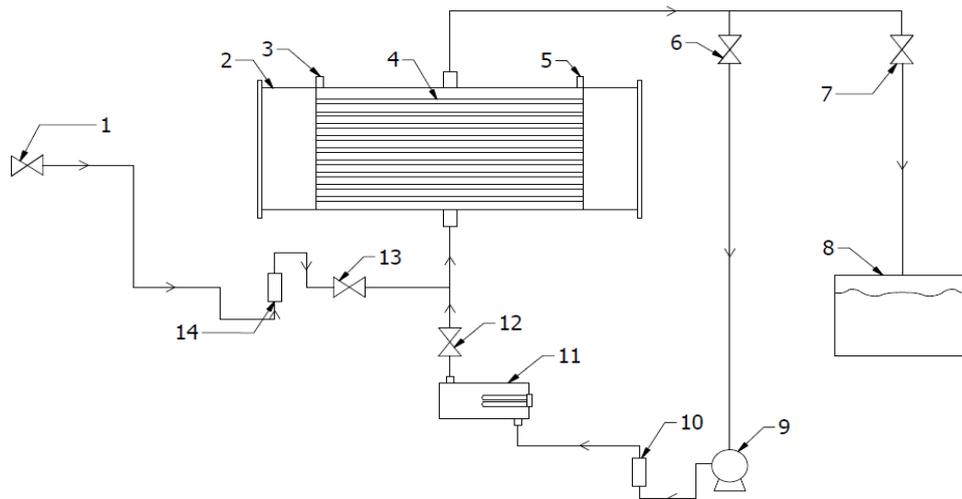
Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM. Pengambilan data pada penelitian ini dengan cara *discharging* kontinyu dimana tidak adanya jeda waktu saat pengambilan data pada setiap variasi debit yang ditentukan. Pengambilan data dilakukan pada suhu di 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 Solar Water Heater

## 2.1 Skema Penelitian

Skema alat SWH tersebut merupakan skema proses *charging* dan *discharging*. Proses *discharging* dimulai ketika proses *charging* telah selesai. Proses *charging* dilakukan dengan memberikan variasi fluks kalor pada *heater* serta debit yang konstan ketika pengujian berlangsung hingga suhu mencapai 70°C. Selanjutnya proses *discharging* dimulai dengan menutup semua katup jalur *charging*, dan membuka semua katup jalur *discharging*, setelah itu mengalirkan air dari kran, dengan membuka rotameter 3 lpm dengan mengatur setiap variasi debit yang diberikan, sehingga aliran air akan masuk kedalam tangki dan bercampur dengan air panas didalamnya, aliran air tersebut akan keluar menuju bak penampungan dan tunggu hingga suhu pada bak penampungan mencapai 35°C yang digunakan untuk keperluan mandi air hangat.



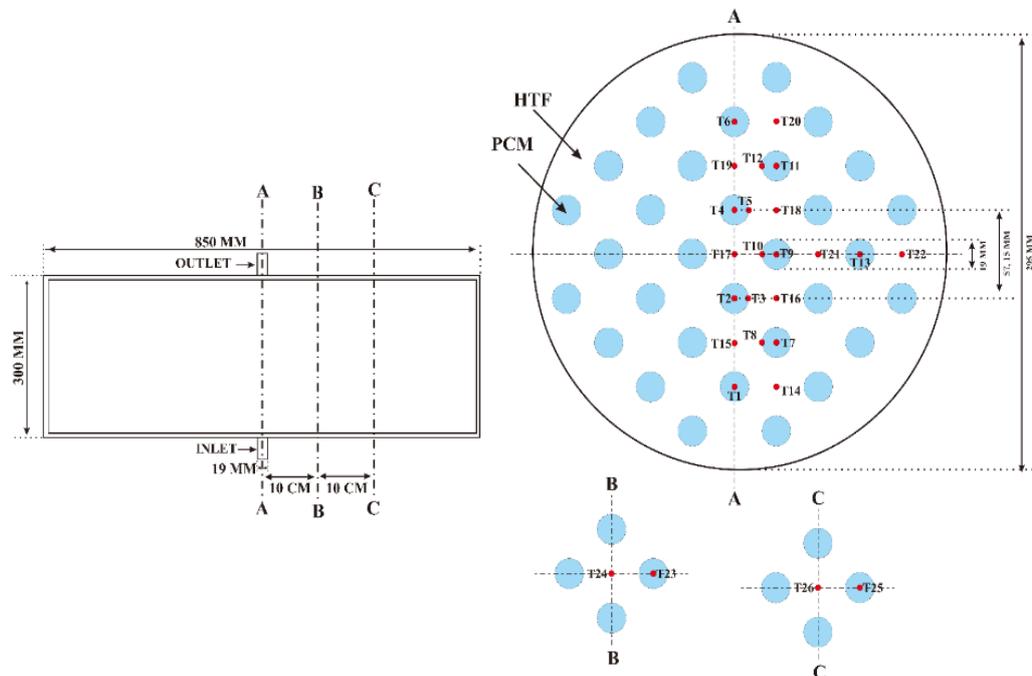
Gambar 4. Skema Alat SWH

Keterangan nomor pada Gambar 4 :

(1) Keran Air, (2) tangki SWH, (3) lubang kabel masuknya termokopel, (4) kapsul berisi PCM, (5) lubang kabel masuknya termokopel, (6) katup *charging*, (7) katup *discharging*, (8) bak penampungan, (9) pompa, (10) rotameter 1000 mpm, (11) *immersion heater*, (12) katup *charging*, (13) katup *discharging*, dan (14) rotameter 3 lpm.

## 2.2 Pemasangan Termokopel

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

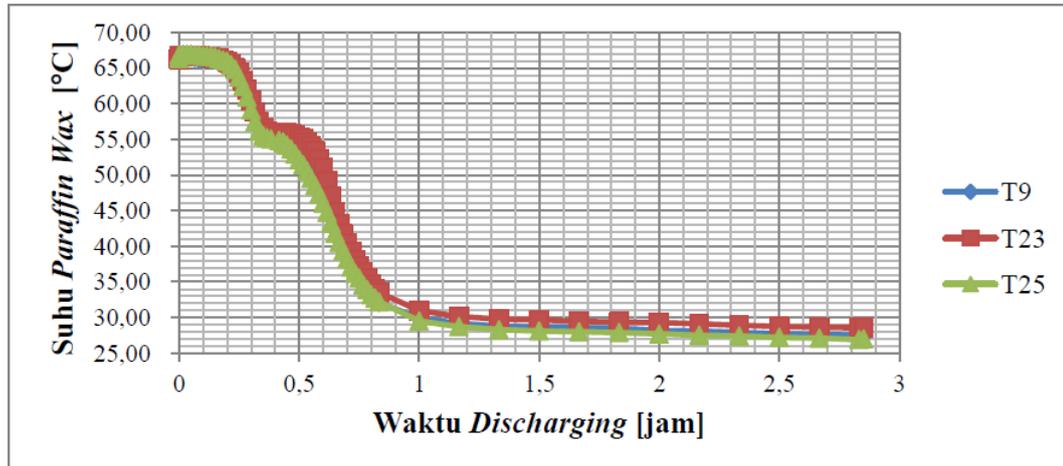


Gambar 5. Peletakan Termokopel

### 3. Hasil dan Pembahasan

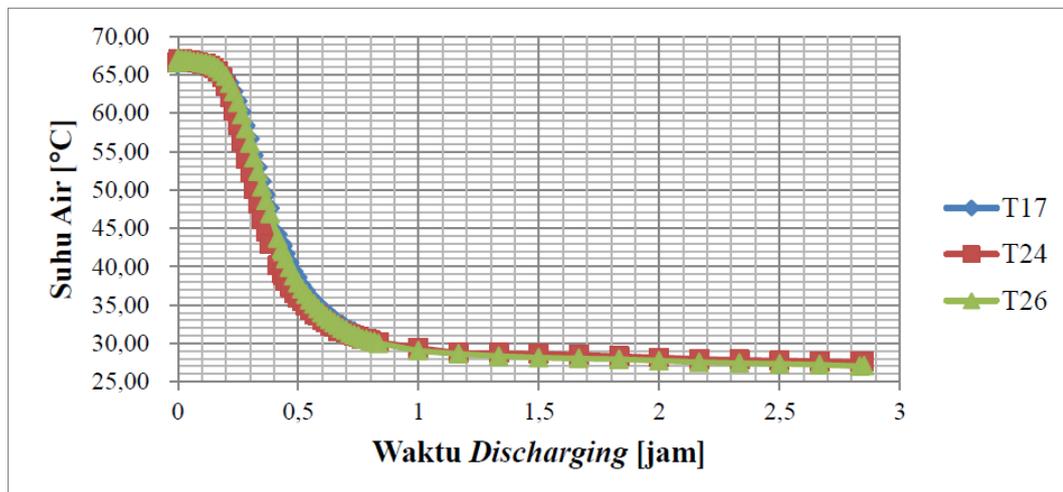
#### 3.1 Evolusi Suhu Arah Aksial 1 LPM

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* 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 *Paraffin Wax* Arah Aksial

Grafik pada gambar 6 menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tersebut mengalami penurunan suhu yang relatif sama hingga waktu 0,4 jam, karena pada waktu tersebut PCM masih merata, tetapi pada waktu berikutnya mengalami penurunan suhu yang berbeda – beda. Hal ini disebabkan karena terjadinya perubahan fasa yang tidak sama pada setiap termokopel yang terpasang pada arah aksial *paraffin wax* dan pengaruh suhu HTF yang diberikan kepada PCM tidak merata karena titik letak termokopel yang berbeda.



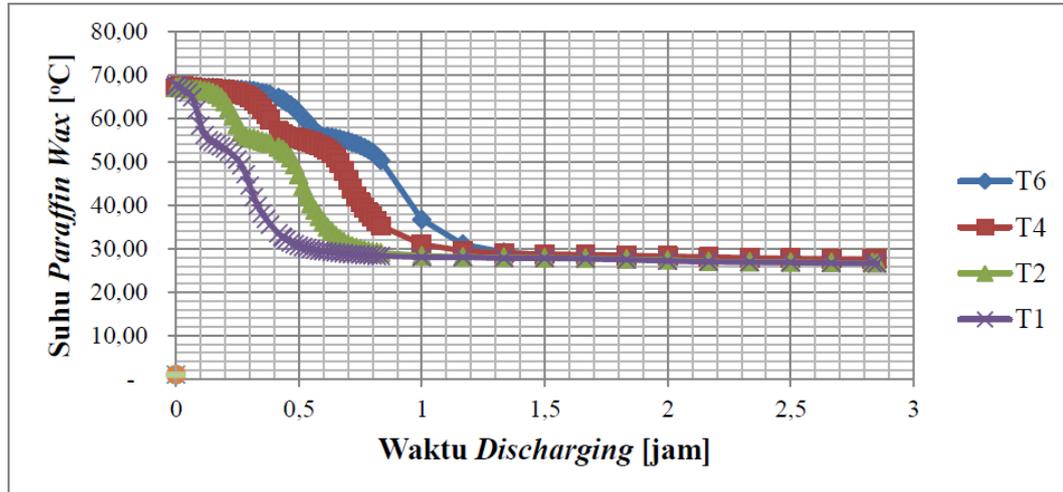
Gambar 7. Evolusi Suhu Air Arah Aksial

Grafik pada gambar 7 aksial air menunjukkan penurunan suhu pada T17 dan T26 tidak mengalami perbedaan, tetapi pada T24 mengalami penurunan suhu yang berbeda dan waktu yang berbeda. Perbedaan suhu dan waktu tersebut dilihat dari suhu 61 °C hingga 36 °C dan 0,21 – 0,53 jam. Hal ini sangat tidak logis pada termokopel T24 yang terletak lebih jauh dari input kran air dibandingkan dengan T17, dikarenakan terjadinya gejala aliran air yang disebabkan peletakan termokopel yang tidak rapi, sehingga

penurunan suhu dan waktu HTF pada T24 lebih cepat. Setelah suhu 36°C dan 0,53 jam penurunan mulai sama secara stabil karena HTF sudah tersebar secara merata.

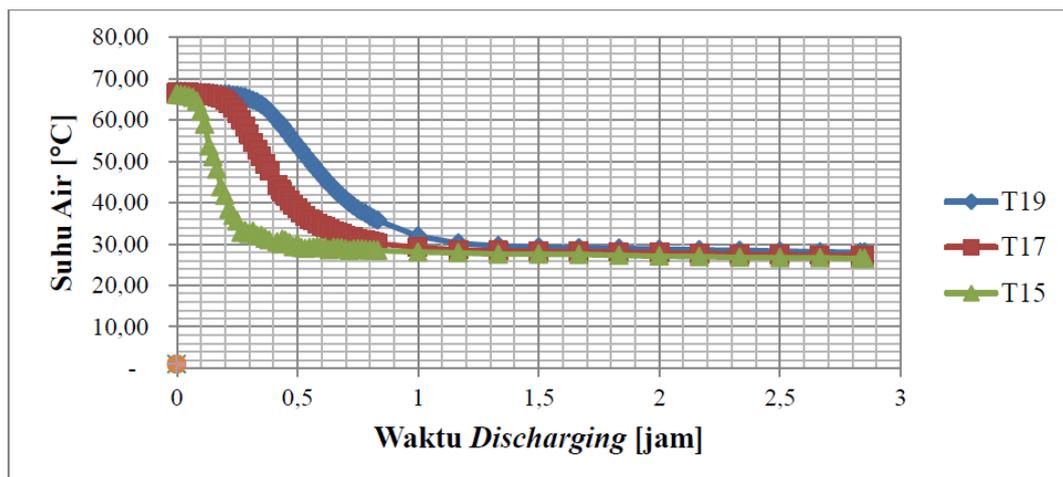
### 3.2 Evolusi Suhu Arah Vertikal

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* 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 Paraffin Wax Arah Vertikal

Grafik pada gambar 8 menjelaskan 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 0-0,5 jam berkisar 7°C, suhu T4 berkisar 12°C, suhu T2 berkisar 23°C, dan suhu T1 berkisar 37°C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T1 selama setengah jam.



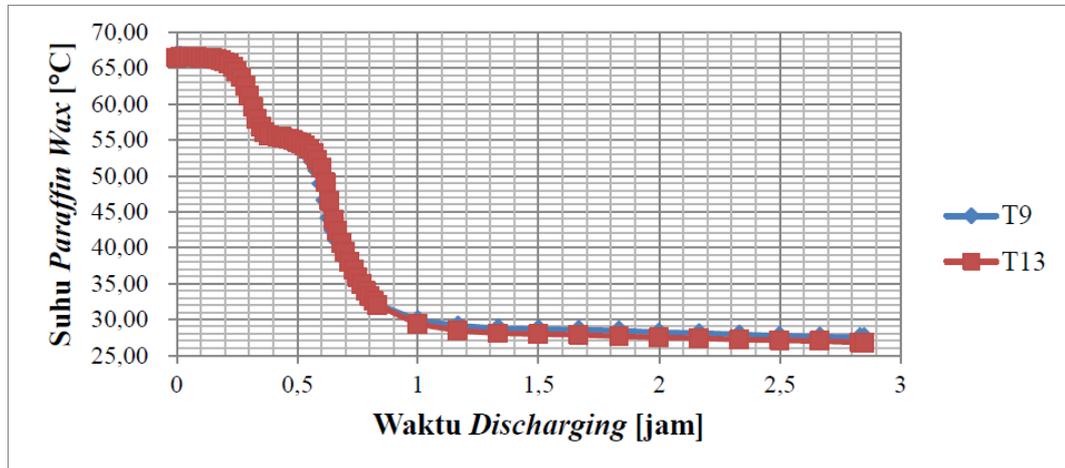
Gambar 9. Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Grafik pada gambar 9 menjelaskan suhu pada T15 dalam data penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dan 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 14 °C, suhu T17 berkisar 28 °C, dan suhu T15 berkisar 36 °C. Sehingga penurunan suhu paling cepat pada T15.

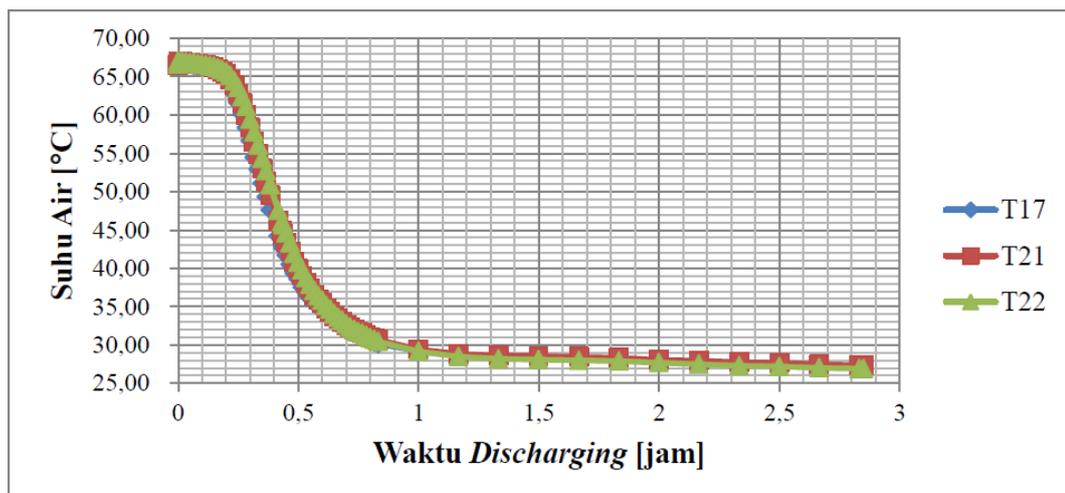
### 3.3 Evolusi Suhu Arah Horizontal

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah horizontal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* 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 *Paraffin Wax* Arah Horizontal

Grafik pada gambar 10 menunjukkan bahwa suhu pada kedua termokopel tidak mengalami perbedaan yang signifikan, tetapi adanya lengkungan pada suhu 55 °C hingga 53 °C. Hal ini disebabkan karena *paraffin wax* sempat menahan suhu saat terjadinya pelepasan kalor dari PCM ke HTF serta karena menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak lebih dari 1 °C. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat kedua termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar. Pada waktu 0-0,8 jam suhu T13 lebih tinggi dari T9 namun dari 0,8-2,51 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.



Gambar 11. Evolusi Suhu Air Arah Horizontal

Grafik pada gambar 11 horizontal air menunjukkan penurunan suhu pada T17 dan T21 tidak mengalami perbedaan, tetapi pada T22 mengalami penurunan suhu yang berbeda

dan waktu yang berbeda. Perbedaan suhu dan waktu tersebut dilihat dari suhu 62 °C hingga 36 °C dan 0,26 – 0,51 jam. Hal ini disebabkan karena T17 terkena debit air kran terlebih dahulu dibandingkan T21 dan T22, sehingga penurunan suhu dan waktu HTF pada T17 lebih cepat. Setelah suhu 36°C dan 0,51 jam penurunan mulai sama secara stabil karena HTF sudah tersebar secara merata.

### 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.

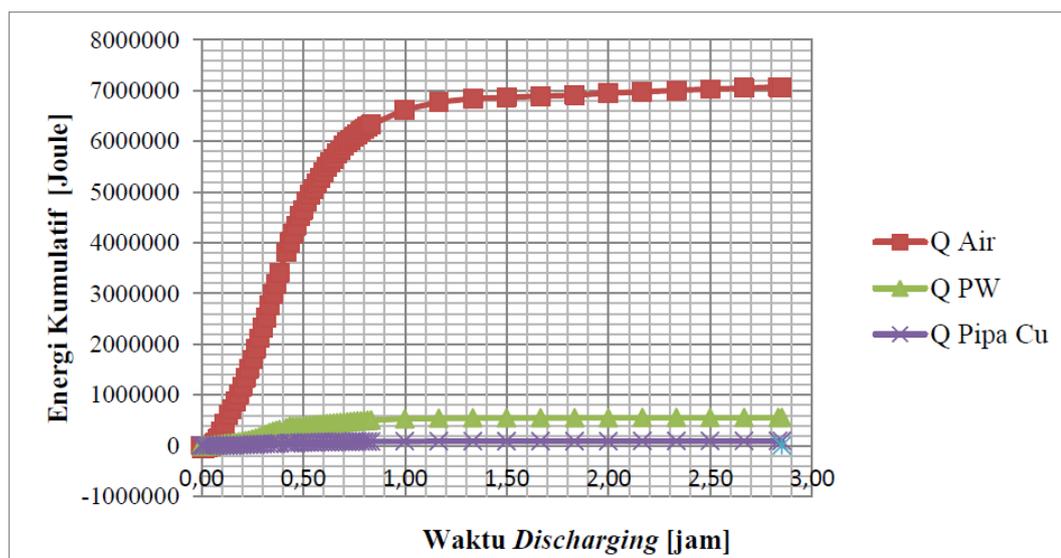
$$Q_{kum} = m \times cp \times \Delta T \quad (1)$$

$$Q_{kum} = 43.13 \times 4180 \times (66,46 - 27,24)$$

$$Q_{kum} = 7.069.918,65 \text{ J}$$

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 | 66,46 | 27,24 | 39,22 | 7.069.918,65 |
| Pipa Cu | 390        | 5,91  | 66,56 | 26,93 | 39,63 | 91.280,81    |
| PW      | 2000       | 3,50  | 66,80 | 27,16 | 39,64 | 553.681,71   |



Gambar 12. Grafik Energi Kumulatif

Grafik pada gambar 12 menjelaskan bahwa energi kumulatif menunjukkan 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* 2000 J/kg.K. Grafik Q *Paraffin Wax* mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,83 jam sebanyak 0,501 kJ, setelah 0,83 jam hingga selesai laju kenaikan hanya sebesar 501,751 – 553,682 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa Cu mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 81,449 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-0,83 jam sebesar 6325,497 kJ, setelah 0,83 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:

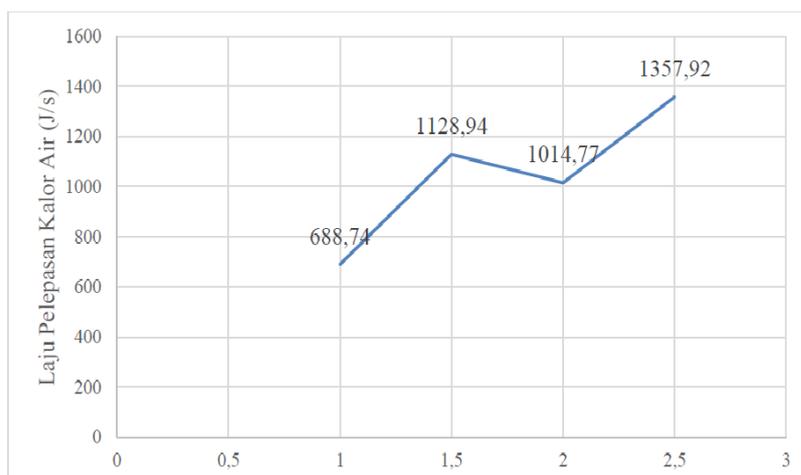
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = \frac{7.069.918,65}{10265}$$

$$\dot{Q} = 688,74 \text{ J/s}$$

Tabel 2. Laju Pelepasan Kalor Air

| V   | T1 Air | T2 Air | ΔT    | Δt      | Q kum Air    | Q kum Paraffin Wax | Q̇      |
|-----|--------|--------|-------|---------|--------------|--------------------|---------|
| LPM | °C     | °C     | °C    | (detik) | (J)          | (J)                | (J/s)   |
| 1   | 66,45  | 27,24  | 39,21 | 10265   | 7.069.91,65  | 553.681,77         | 688,74  |
| 1.5 | 66,98  | 26,24  | 40,73 | 6505    | 7.343.781,23 | 573.426,53         | 1128,94 |
| 2   | 66,63  | 28,16  | 38,47 | 6835    | 6.935.957,92 | 550.331,67         | 1014,77 |
| 2.5 | 65,79  | 26,43  | 39,35 | 5225    | 7.095.134,33 | 545.161,54         | 1357,92 |



Gambar 13. Laju Pelepasan Kalor Air

Grafik pada gambar 13 menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 2 jam 51 menit 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* 65°C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi lainnya yang suhu awalnya 66°C. Selain itu semakin besar debit juga berpengaruh terhadap pelepasan kalor yang terjadi. Pengambilan data pada variasi 2,5 LPM mencapai 1 jam 27 menit.

#### 3.5.2. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax

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

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

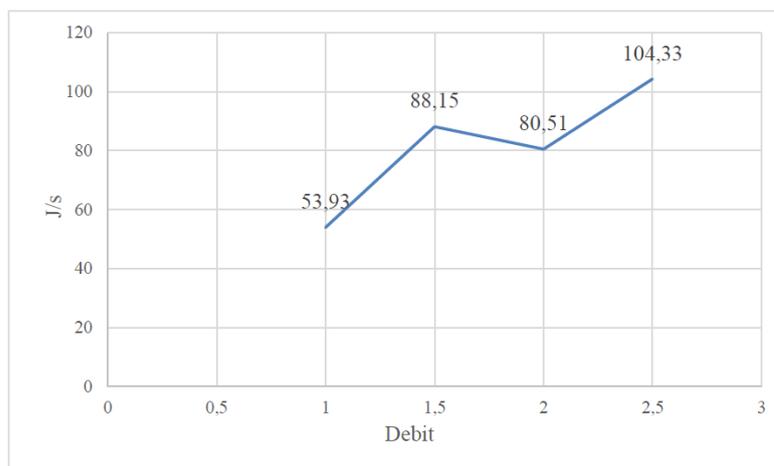
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{553.681,77}{10265}$$

$$\dot{Q} = 53,93 \text{ J/s}$$

Tabel 3. Laju Pelepasan Kalor *Paraffin Wax*

| V   | T1 PCM | T2 PCM | $\Delta T$ | $\Delta t$ | Q kum Air    | Q kum <i>Paraffin Wax</i> | $\dot{Q}$ |
|-----|--------|--------|------------|------------|--------------|---------------------------|-----------|
| LPM | °C     | °C     | °C         | (detik)    | (J)          | (J)                       | (J/s)     |
| 1   | 66,80  | 27,16  | 39,64      | 10265      | 7.069.918,65 | 553.681,77                | 53,93     |
| 1.5 | 67,24  | 26,05  | 41,19      | 6505       | 7.343.781,23 | 573.426,53                | 88,15     |
| 2   | 66,94  | 28,11  | 38,83      | 6835       | 6.935.957,92 | 550.331,67                | 80,51     |
| 2.5 | 66,32  | 26,51  | 39,81      | 5225       | 7.095.134,33 | 545.161,54                | 104,33    |



Gambar 14. Laju Pelepasan Kalor *Paraffin Wax*

Grafik pada gambar 14 menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor pada *paraffin wax* paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 53,93 J/s. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM yaitu 104,33 J/s. Variasi 2,5 LPM memiliki laju pelepasan terbesar karena menggunakan debit paling besar sehingga memiliki perubahan suhu yang cepat.

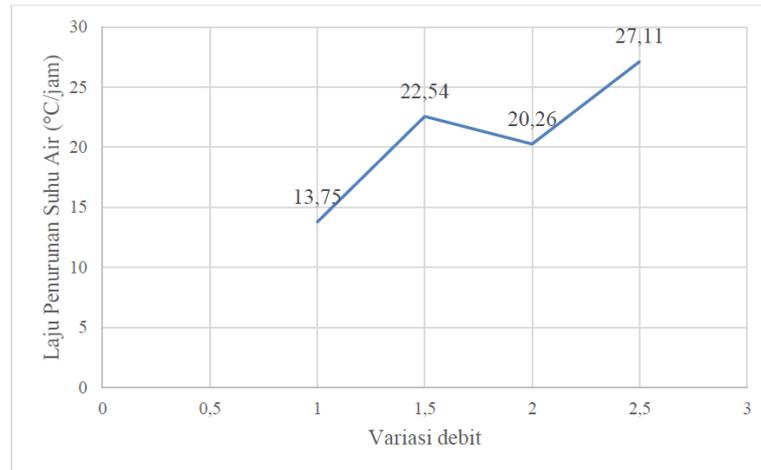
### 3.5.3. Laju Penurunan Suhu Air

Laju penurunan suhu pada air dapat dicari dengan persamaan 3.

$$\begin{aligned}
 \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} \quad (3) \\
 &= \frac{(66,45 - 27,24) \times 3600}{10265} \\
 &= 13,75 \text{ } ^\circ\text{C/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Laju Penurunan Suhu Air

| V   | T1 Air | T2 Air | $\Delta T$ | $\Delta t$ | Laju penurunan suhu |
|-----|--------|--------|------------|------------|---------------------|
| LPM | °C     | °C     | °C         | (detik)    | (°C/jam)            |
| 1   | 66,45  | 27,24  | 39,21      | 10265      | 13,75               |
| 1.5 | 66,98  | 26,24  | 40,73      | 6505       | 22,54               |
| 2   | 66,63  | 28,16  | 38,47      | 6835       | 2,26                |
| 2.5 | 65,79  | 26,43  | 39,35      | 5225       | 27,11               |



Gambar 15. Laju Penurunan Suhu Air

Grafik pada gambar 15 diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu air paling rendah 13,75 °C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 2 jam 51 menit diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 27,11 °C/jam pada variasi 2,5 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* 65 °C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 66 °C. Pengambilan data pada variasi 2,5 LPM mencapai 1 jam 27 menit.

### 3.5.4. Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax

Laju penurunan suhu pada *paraffin wax* dapat dicari dengan persamaan 3.

$$\begin{aligned}
 \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} \quad (3) \\
 &= \frac{(66,80 - 27,16) \times 3600}{10265} \\
 &= 13,90 \text{ } ^\circ\text{C/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax

| V   | T1 PcM | T2 PCM | ΔT    | Δt      | Laju penurunan suhu |
|-----|--------|--------|-------|---------|---------------------|
| LPM | °C     | °C     | °C    | (detik) | (°C/jam)            |
| 1   | 66,80  | 27,16  | 39,64 | 10265   | 13,9                |
| 1.5 | 67,24  | 26,05  | 41,19 | 6505    | 22,79               |
| 2   | 66,94  | 28,11  | 38,83 | 6835    | 20,44               |
| 2.5 | 66,32  | 26,51  | 39,81 | 5225    | 27,42               |



Gambar 16. Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax

Gambar 4.32 diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu *paraffin wax* paling rendah 13,90 C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 2 jam 51 menit diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 27,42 °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* 65 °C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 66 °C. Pengambilan data pada variasi 2,5 LPM mencapai 1 jam 27 menit.

#### 4. Kesimpulan

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

1. Laju pelepasan air terendah yaitu dengan debit 1 LPM. Nilai laju pelepasan air 688,74 J/s dan laju pelepasan PCM 53,93 J/s, Rendahnya nilai laju pelepasan kalor dipengaruhi oleh waktu pengujian, semakin lama makan akan semakin rendah nilainya. Sedangkan nilai laju pelepasan air terbesar yaitu dengan debit 2,5 LPM. Nilai laju pelepasan air 1357,92 J/s dan laju pelepasan PCM 104,33 J/s. 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 terendah yaitu dengan debit 1 LPM. Nilai laju penurunan suhu air 13,75 °C/jam dan laju penurunan suhu PCM 13,9 °C/jam. Faktor yang mempengaruhi rendahnya nilai laju penurunan suhu juga dipengaruhi oleh waktu pengujian, semakin lama makan akan semakin rendah nilainya. Sedangkan nilai laju penurunan suhu air terbesar yaitu dengan debit 2,5 LPM. Nilai laju penurunan suhu air 27,11 °C/jam dan laju penurunan suhu PCM 27,42 °C/jam. Besarnya nilai penurunan suhu pada variasi 2,5 LPM karena waktu pengujian yang singkat dari ketiga variasi lainnya.

#### REFERENCES

##### Journal:

- [1] Navarro, L., Gracia, A.D., Niall, D., Castell, A., Browne, M., McCormack, J.S., Griffiths, P., dan Cabeza, F.L., 2016, "Thermal Energy Storage In Building Integrated Thermal System: A Rievew Part 2. Integration as Passive System". *Journal of Renewable Energy*, 85, pp. 1334-1356.
- [2] Nadjib, M., Sukamta., Caroko, M., dan Santosa, T.H.A., 2015. "Studi Eksperimental Penyimpanan Energi Termal pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya yang Berisi PCM". *Jurnal Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*.
- [3] Nadjib, M., dan Santosa, T.H.A., 2017. "Perilaku Termal Pemanas Air Tenaga Surya yang Berisi PCM pada Unit Tangki". *Jurnal 5TH Urecol Proceeding*, ISBN 978-979-3812-42-7.
- [4] Sudrajat, S.E., dan Santosa, I., 2014. "Perancangan Solar Water Heater Jenis Plat Datar Temperatur Medium untuk Aplikasi Penghangat Air Mandi". *Jurnal Teknologi*, 7(2), pp. 118-127.
- [5] Susana, T., 2003. "Air Sebagai Sumber Kehidupan". *Jurnal Oseana*, XXVIII (3), pp 17-25.
- [6] Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., dan Buddhi, D., 2009. "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications". *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, pp. 318-345.
- [7] 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.