

# PENGUKURAN LAJU PELEPASAN KALOR SECARA BERTAHAP PADA TANGKI SOLAR WATER HEATER DENGAN KAPSUL BERISI *PARAFFIN WAX* PADA VARIASI DEBIT AIR 1; 1,5; 2 & 2,5 LPM

Eriq Nur Baitulatif<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>[eriqbangkong57@gmail.com](mailto:eriqbangkong57@gmail.com), <sup>b</sup>[titoahas@yahoo.com](mailto:titoahas@yahoo.com), <sup>c</sup>[nurcahyadi@gmail.com](mailto:nurcahyadi@gmail.com)

---

## ABSTRAK

Air merupakan sumber utama dalam kehidupan yang mana digunakan untuk konsumsi dan juga mandi. Kebutuhan air untuk mandi sangatlah pesat dimana hampir seluruh manusia menggunakannya, Perkembangan zaman yang semakin maju manusia mandi menggunakan air panas yang biasanya terdapat pada perumahan, hotel dan lain lain, namun masih banyak yang menggunakan bahan bakar gas LPG dalam memanaskan air tersebut dimana gas LPG dihasilkan dari energi fosil yang bisa habis dalam waktu tertentu sehingga diperlukannya *Solar Water Heater* (SWH) dengan menggunakan energi matahari yang diserap untuk memanaskan air. Namun air memiliki kekurangan yaitu densitas yang tinggi sehingga memerlukan *Phase Change Material* (PCM) bertujuan untuk mengurangi densitas yang tinggi pada air. Pada penelitian ini, PCM menggunakan *paraffin wax*. Tujuan dari 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 menggunakan proses *discharging* bertahap yaitu setiap lima menit kran air dibuka kemudian lima menit kran air ditutup. Pengambilan data dilakukan pada tangki setelah proses *charging* mencapai 70 °C dan berakhir ketika suhu bak air mencapai 35 °C. Pengambilan data yg diambil pada proses *discharging* adalah suhu air pada tangki, PCM pada tangki dan air dalam bak penampungan.

Hasil dari penelitian ini adalah variasi 1 LPM memiliki penurunan suhu air paling rendah yaitu 8,88 °C/jam dan laju penurunan suhu PCM terendah terjadi pada variasi 1 LPM yaitu 8,92 °C/jam. Sedangkan laju pelepasan kalor air paling rendah terjadi pada 1 LPM yaitu 444,8 J/s dan laju pelepasan kalor PCM paling rendah terjadi pada 2 LPM yaitu 28,97 J/s. Laju pelepasan kalor PCM pada variasi 2 LPM rendah dikarenakan suhu pada awal pengambilan data *Discharging* rendah.

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

## ABSTRAC

Water being the daily prime necessity of live to be consumed and take bath. The need of water for shower becomes so darting were almost be drawn upon by the entire human being. The developed of increasing era, people take bath to use warm water that the water normally provided at home, hotel and any other places, however, many of citizens make use to LPG fuel to heat water where LPG fuel is produced from fossil energy that can be exhausted in the certain time so that Solar Water Heater (SWH) is needed with solar energy is absorbed to heat water. nevertheless, water has deficiency that is the high density so that needed Phase Change Material (PCM) which is aimed to reduce the high density of water. In this study, PCM uses paraffin wax. The aim of this research is to find out the rate of the decrease in water temperature, rate of decrease in PCM temperature, rate of water heat releasing, and rate of PCM heat released.

This research uses four various debit they are 1; 1,5; 2; and 2,5 LPM. Data collection method of this study used the staged *discharging* process that is every early five minutes faucet is opened and five minutes further faucet is closed. The date was collected on tank after charging process gained 70 °C and end up when water tub temperature reaches 35 °C. The data collected taken on discharging process were water temperature in the tank, PCM in tank and water in a shelter.

The result of this study is 1 LPM variation that has the lowest descreased temperature which is 8,88 °C/hour and PCM lowest decreased rate is occurs in 1 LPM variation that is 8,92 °C/hour. Meanwhile, the lowest released rate of water calor occurs on 1 LPM that is 444,8 J/s and the lowest released rate of LPM calor occurs on 2 LPM that is 28,97 J/s. The released of PCM rate calor on 2 LPM variation is low caused of the temperature of the discharging data collected is low.

**Keywords :** SWH, PCM, *graduel discharging*

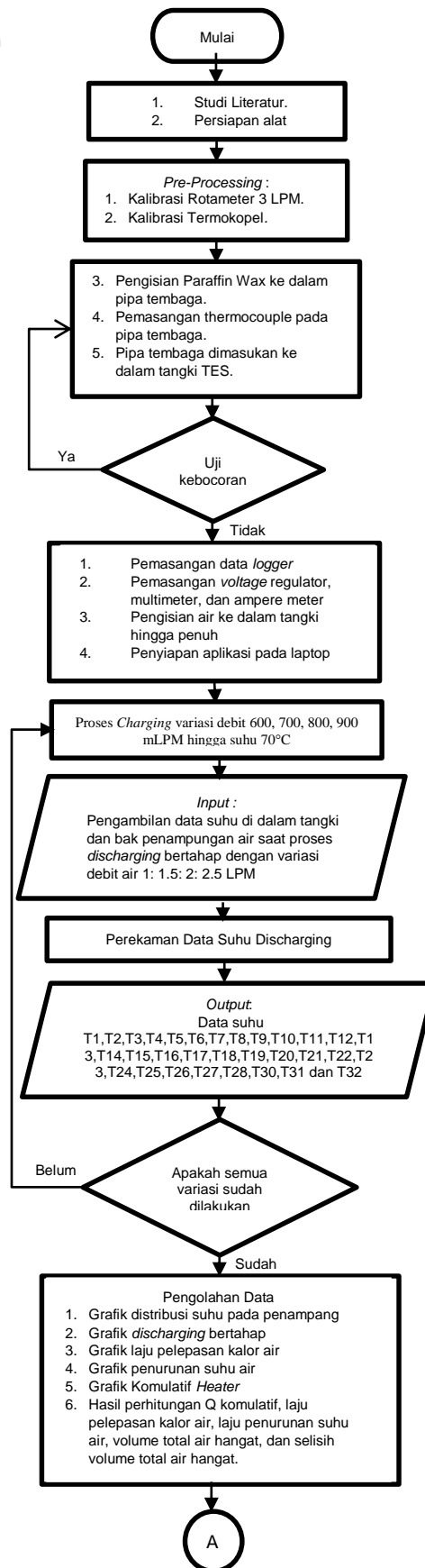
## 1. Pendahuluan

Sering dengan perkembangan jaman manusia membutuhkan lebih banyak air dalam kehidupan sehari-hari, khususnya mandi dengan air panas yang sudah sering kita jumpai. Namun mandi air panas masih banyak menggunakan bahan bakar gas LPG yang berasal dari gas alam sebagai sumber untuk memanaskannya yang mana secara perlahan akan habis jika digunakan secara terus menerus. Sehingga diperlukannya energy terbarukan yaitu 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. *Paraffin Wax* termasuk dalam kategori penyimpan energi jenis *Latent Heat Thermal Energy Storage* (LHTES) karena sifat densitas materialnya yang tinggi, yaitu (~200kJ/Kg)(Farid dkk, 2004). 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 *paraffin wax* yang dimasukkan ke dalam pipa tembaga 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.

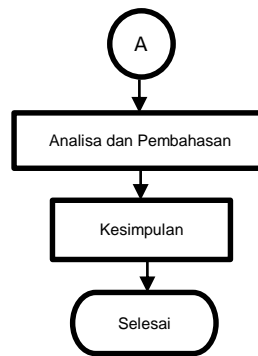
Anica Trp (2005) melakukan eksperimental berupa dua buah tabung konsentris yang terbuat dari bahan tembaga dan kuningan dengan panjang 1 meter. Tabung dibagian dalam terbuat dari bahan tembaga dengan diameter 0.033 m untuk bagian dalam dan 0,035 untuk bagian luar. Sedangkan untuk tabung dibagian luar menggunakan bahan kuningan dengan diameter dalam 0,128 m dan 0,133 m untuk bagian luar. Eksperimental bertujuan untuk mengurangi adanya perpindahan panas yang ada dilingkungan sekitar. *Heat transfer* yang diedarkan ke dalam seluruh tangki berupa air dengan ruang antara tabung tembaga dan tabung kuningan dipenuhi PCM/*paraffin wax* RT 30.

*Shuangmao, dkk* (2011) melakukan penelitian tentang karakteristik dinamis dari sistem penyimpan panas matahari pada proses *discharging* menggunakan kapsul – kapsul berbentuk bola yang berisi *paraffin wax* (PCM) *Paraffin* digunakan sebagai bahan perubahan fasa *phase change material* (PCM) dan air digunakan sebagai *heat transfer fluid* (HTF). Penelitian ini disimpulkan bahwa Laju pelepasan panas sangat tinggi dan akan berkurang secara cepat ketika mendekati *cooling stage*, serta laju pelepasan panas akan stabil pada *solidification cooling stage* hingga pada *solid cooling stage*. Waktu yang diperlukan untuk pemadatan secara sempurna akan berkurang ketika laju aliran *heat transfer fluid* (HTF) meningkat, tetapi efek tidak begitu jelas jika laju aliran *heat transfer fluid* (HTF) melebihi 13 kg/menit. Pengaruh dari rembesan pada *packed bed* tidak terlalu berpengaruh secara signifikan jika dibandingkan dengan temperature inlet *heat transfer fluid* (HTF) dan laju aliran.

## 2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

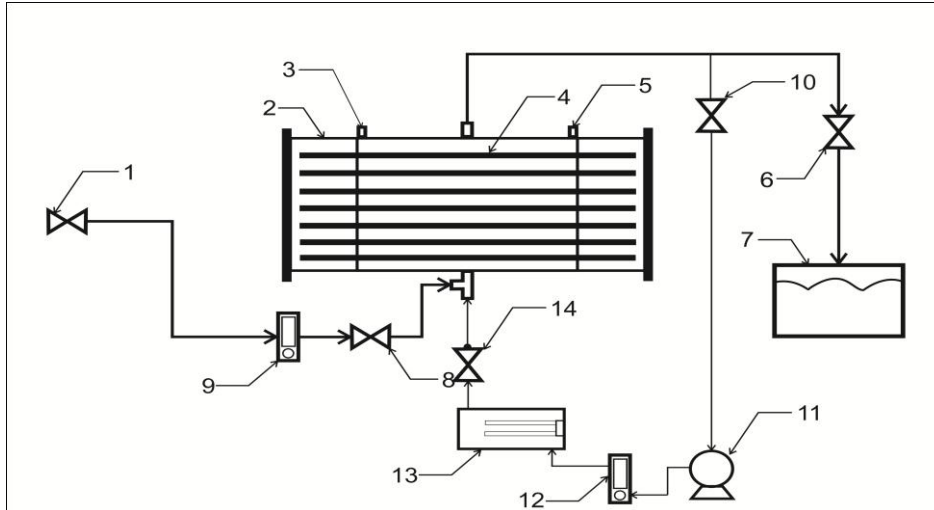
Parameter dalam penelitian ini menggunakan variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2 LPM. Proses pengambilan data pada penelitian ini dengan cara *discharging* bertahap dimana setiap lima menit air kran dibuka kemudian lima menit ditutup. Pengambilan data dilakukan pada suhu di dalam tangki TES setelah proses Charging mencapai 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 keran inlet yang berfungsi sebagai masuknya aliran air kran ke tangki, (2) Tangki SWH yang berisi kapsul PCM didalamnya, (6) katup outlet yang berfungsi sebagai keluarnya air menuju ke bak penampungan, dan (7) bak penampungan sebagai tempat menampung air yang keluar dari tangki, (9) *rotameter* LZT M – 15 *Instrument Company* yang dapat mengukur debit sebesar 0,2 – 3,0 LPM serta 1 – 8 GPM LZT M – 15.



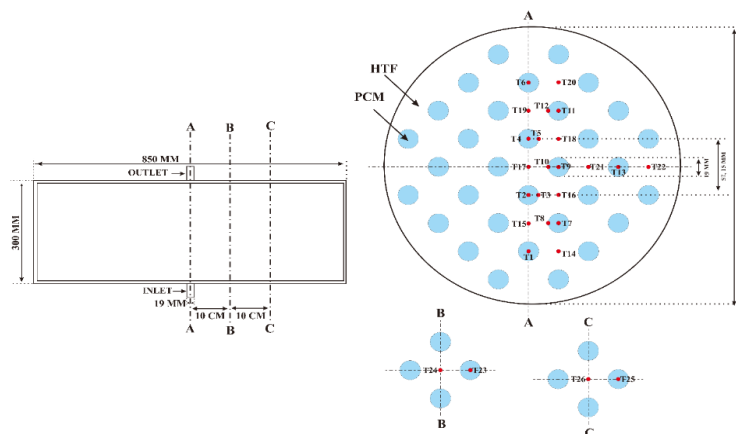
**Gambar 4.** Skema Proses *Charging* dan *Discharging*

Keterangan nomor pada Gambar 4 :

- (1). Keran air,
- (2). Tangki SWH,
- (3). Lubang masuknya kabel termokopel,
- (4). Pipa tembaga,
- (5). Lubang masuknya kabel termokopel,
- (6). Valve keluaranya air dari tangki ke bak,
- (7). Bak Penampung Air,
- (8). Valve masuknya air dari keran ke tangki,
- (9). Rotameter Air 3,0 LPM serta 1 – 8 GPM LZT M – 15,
- (10). Valve proses *Charging*
- (11). Pompa
- (12). Rotameter 1000 LPM
- (13). *Immersion heater*
- (14). Valve proses *Charging*

## 2.2 Pemasangan Termokopel

Pemasangan termokopel pada pipa tembaga dilakukan setelah pengisian *Paraffin Wax* selesai dengan melubangi pipa tembaga pada bagian yang sudah ditetapkan. Letak pemasangan termocouple mengikuti gambar desain penempatan *termocouple* yang ditunjukkan pada gambar 5.

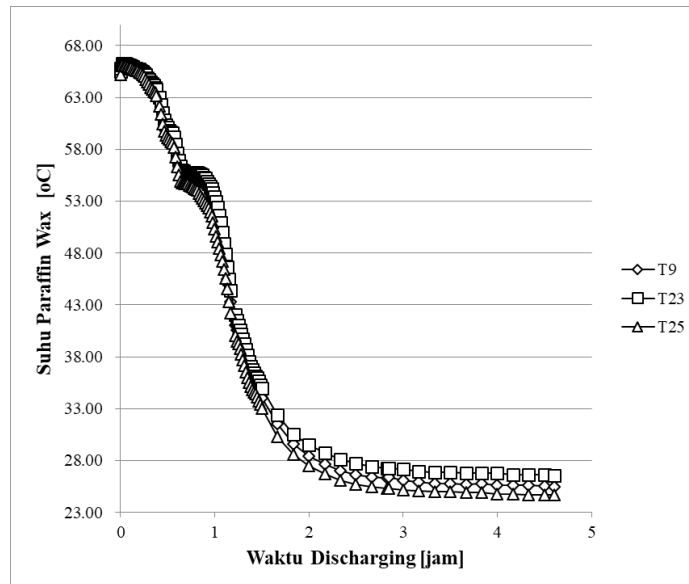


**Gambar 5.** Peletakan Termokopel

### 3. Hasil dan Pembahasan

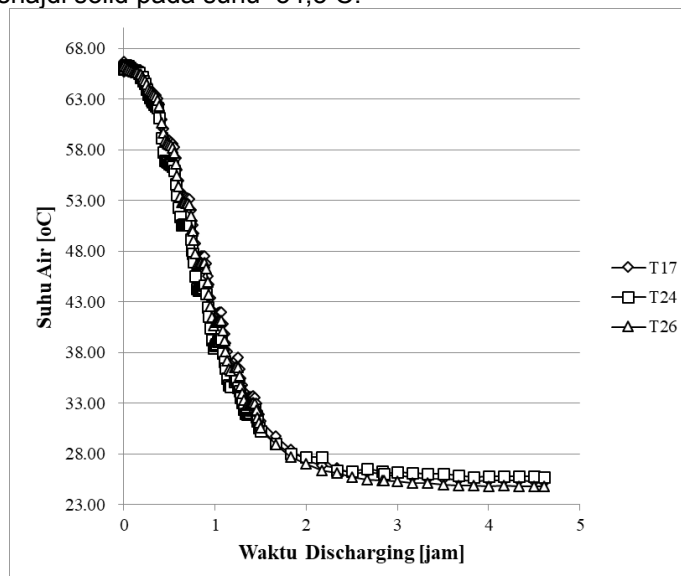
#### 3.1 Evolusi Suhu *Paraffin Wax* dalam Arah Aksial

Hasil yang telah dilakukan dalam pengujian variasi 1 LPM pada arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu *paraffin wax* dapat dilihat pada Gambar 6 sedangkan grafik evolusi suhu air dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 6. menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tersebut tidak mengalami kenaikan suhu namun pada 0,6 sampai 0,9 jam *paraffin wax* sempat menahan suhu sekitar 55°C sampai 56°C. Kejadian ini disebabkan adanya pelepasan kalor dari PCM ke HTF tidak mengalami kenaikan, namun suhu HTF mengalami kenaikan saat katup air kran ditutup selama 5 menit. Setelah 55 menit penelitian berlangsung pengujian ketiga termokopel mengalami penurunan secara stabil karena fasa lilin berubah menjadi solid pada suhu 54,5°C.



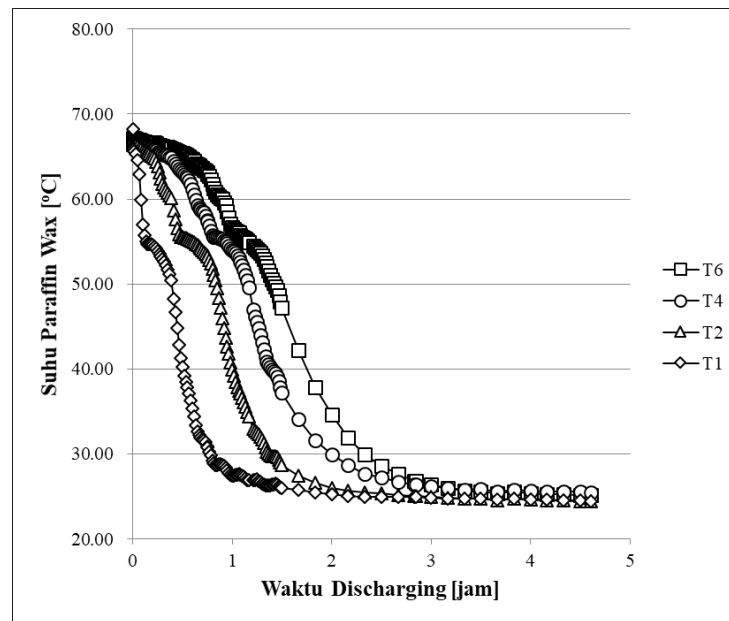
Gambar 7. Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 7. menunjukkan bahwa arah aksial air cenderung terdapat kenaikan suhu yang terlihat dari grafik sebelumnya *paraffin wax*. Grafik yang naik turun terpengaruh pada proses *discharging* bertahap di karenakan adanya variasi buka tutup katup dalam 5 menit. Naiknya suhu terjadi karena pada saat katup di tutup air menyerap panas dari PCM. Sehingga saat kran di tutup suhu akan mengalami kenaikan rata-rata 1-2°C pada waktu 0,4 sampai 1,5 jam dan pada waktu 1,5 sampai 4,36 jam suhu air dalam tangki mengalami penurunan konstan seterusnya sampai suhu 26 °C yaitu suhu dari air kran.

Suhu yang di peroleh ketiga termokopel dari 0,8 sampai 1,4 jam memperoleh grafik naik turun karena terjadi pelepasan kalor dan setelah 1,4 jam suhu pipa cenderung stabil tidak mengalami kenaikan karena *paraffin wax* berat dan sudah berubah fas menjadi solid sempurna. Ketiga suhu pada termokopel tidak mengalami perbedaan yang signifikan, karena variasi debit air yang digunakan kecil sehingga turbulen air yang terjadi juga kecil. Dapat disimpulkan maka semakin debit air yang dipakai besar maka akan terjadi turbulen yang besar juga dan akan membuat ketiga termokopel mengalami perubahan suhu yang besar.

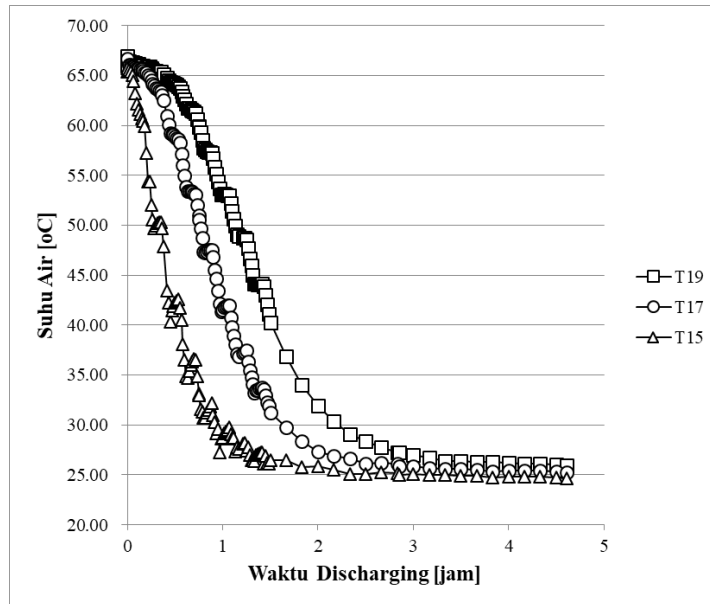
### 3.2 Evolusi Suhu *Paraffin Wax* dalam Arah Vertikal

Hasil yang telah dilakukan dalam pengujian variasi 1 LPM pada arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu *paraffin wax* dapat dilihat pada Gambar 8, sedangkan graffik evolusi suhu bair dapa dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Evolusi Suhu *Paraffin Wax* dalam Arah Vertikal

Pada suhu termokopel T1 pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu menjadi lebih rendah dibanding ketiga termokopel lainnya. Turunya suhu termokopel T1 dipengaruhi oleh letak pipa tembaga yang berada paling dekat dengan input air dari kran yang masuk kedalam tangki TES. Namun suhu termokopel T6 memiliki suhu yang relative konstan karena letak dari pipa tembaga yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu yang terjadi pada termokopel T6 terjadi pada 0 sampai 1 jam yaitu berkisar 11 °C, suhu T4 berkisar 13 °C, suhu T2 berkisar 27 °C dan suhu T1 pada 0 sampai 1 jam berkisar 38 °C. sehingga pelepasan kalor paling cepat terjadi pada suhu termokopel T1 dalam jangka waktu satu jam.

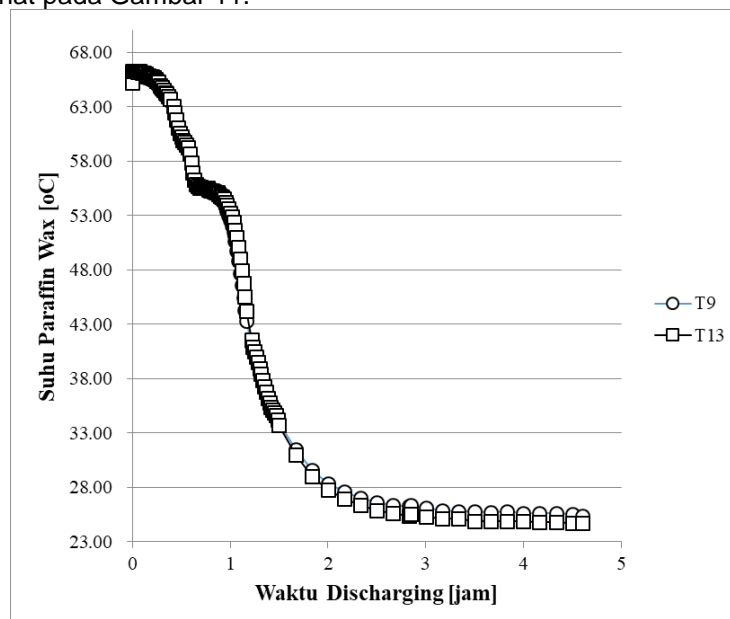


**Gambar 9.** Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Pada suhu termokopel T15 pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu menjadi lebih rendah dari ketiga suhu termokopel lainnya. Turunya suhu termokopel T15 dipengaruhi juga oleh letak termokopel yang berdekatan langsung dengan input air dari kran yang masuk ke dalam tangki TES. Namun suhu termokopel T19 memiliki suhu yang relative konstan karena letaknya yang jauh dari input air yang masuk ke tangki TES. Penurunan suhu T19 pada 0 sampai 1 jam berkisar 14 °C, suhu T17 berkisar 24 °C, dan suhu T15 pada 0 sampai 1 jam berkisar 37 °C. sehingga pelepasan kalor paling cepat terjadi pada suhu termokopel T15 selama satu jam. Naik turunnya suhu yang terjadi dikarenakan adanya variasi *discharging* bertahap setiap 5 menit.

### 3.3 Evolusi Suhu *Paraffin Wax* dalam Arah Horisontal

Hasil yang telah dilakukan dalam pengujian variasi 1 LPM pada arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu *paraffin wax* dapat dilihat pada Gambar 10. sedangkan grafik evolusi suhu air dapat dilihat pada Gambar 11.

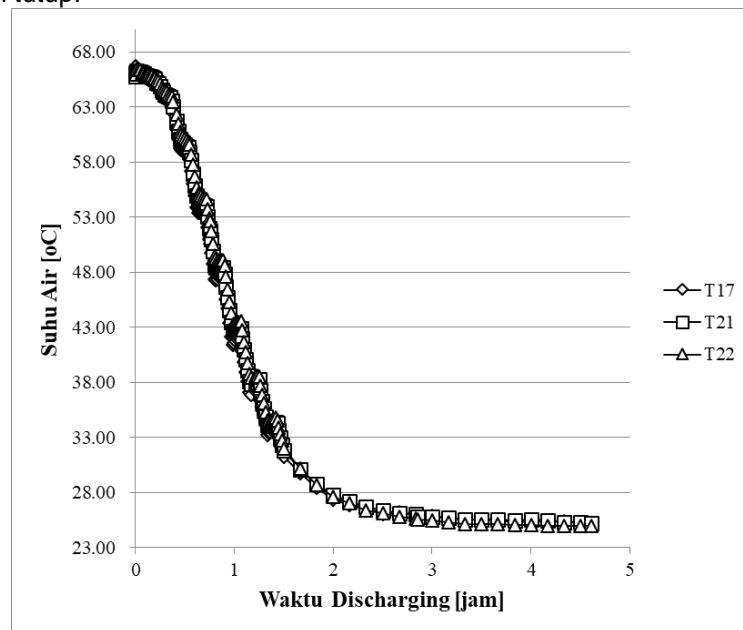


**Gambar 10.** Evolusi Suhu *Paraffin Wax* dalam Arah Horisontal



Pada suhu termokopel T9 dan T13 dari 0 sampai 1 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan di karenakan varasi debit yang digunakan kecil yaitu 1 LPM dan memiliki selisih suhu tidak sampai 1°C. Pada waktu 0 sampai 1,5 jam suhu termokopel T13 lebih tinggi di dibandingkan suhu termokopel T9 namun ketika masuk 1,5 sampai 4,36 jam suhu termokopel T9 lebih tinggi di dibandingkan suhu termokopel T13. Suhu termokopel T9 pada saat awal pengambilan data rendah di karenakan pipa tembaga yang terletak paling dekat jalur air yang mengalir dari kran. Sehingga saat katup kran dibuka T9 akan lebih dahulu terkena air di dibandingkan T13 yang terletak di samping T9.

Grafik menunjukkan bahwa suhu termokopel keduanya tidak mengalami kenaikan, namun pada 0,6 sampai 0,9 jam *paraffin wax* sempat menahan suhu sekitar 55,5°C. Kejadian ini disebabkan adanya pelepasan kalor dari PCM ke HTF sehingga suhu dari PCM tidak terjadi kenaikan akan tetapi HTF mengalami kenaikan suhu pada saat katup kran di tutup.



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

Grafik horizontal air cenderung mengalami kenaikan suhu dibandingkan dengan grafik horizontal *paraffin wax*. Proses *discharging* bertahap sangat mempengaruhi adanya kenaikan atau penurunan suhu yang terjadi pada saat kran dibuka dan ditutup selama 5 menit. Kenaikan suhu yang terjadi diakibatkan pada saat katup kran di tutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Kenaikan suhu hanya terjadi dari 0,8 sampai 1,4 jam kemudian ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan suhu dan penurunan suhu stabil sampai pengujian selesai.

Ketiga suhu termokopel rata-rata tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan variasi debit yang digunakan kecil yaitu 1 LPM dan memiliki selisih suhu yang kecil tidak sampai 2°C. Maka dari itu dapat disimpulkan semakin besar debit yang dipakai maka akan membuat ketiga suhu termokopel mengalami perubahan 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.

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

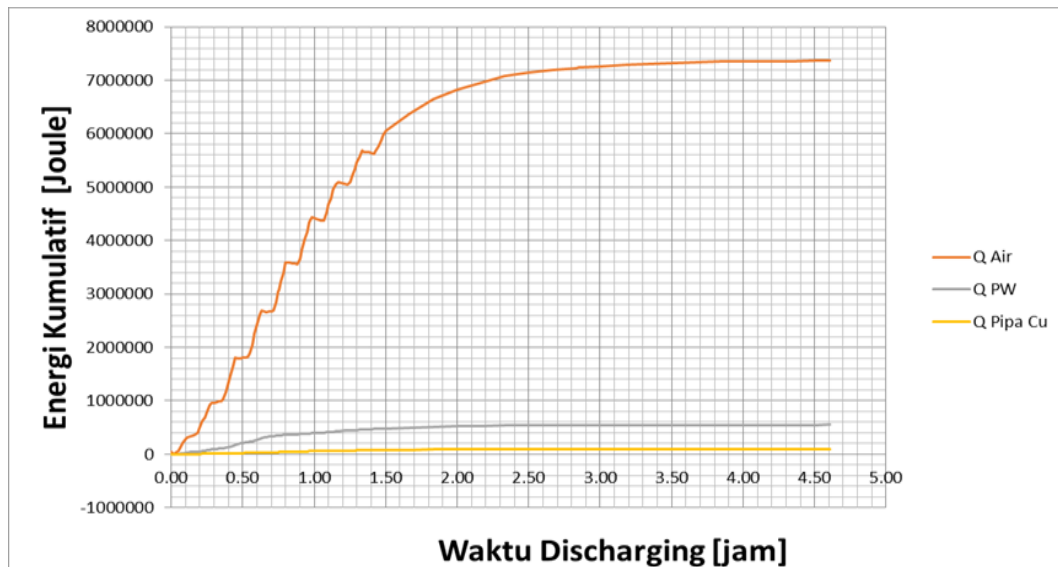
$$(1)$$

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

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

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	67.02	27.68	41.83	90.610.18
PW	2000	6.7	66.44	27.91	41.03	538,578.25



Gambar 12. Grafik Energi Kumulatif

Pada penelitian ini dapat dilihat 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* 2000 J/kg.K. Naik turunnya grafik yang terjadi dari 0 sampai 1,5 jam dipengaruhi adanya variasi bertahap pada proses *Discharging*. Grafik Q *Paraffin Wax* mengalami kenaikan signifikan pada 0 sampai 0,7 jam sebanyak 5 sampai 10 kJ, setelah 0,7 jam laju kenaikan hanya sebesar 2 sampai 3 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa *Cu* mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 0,1 sampai 0,3 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-1,8 jam sebesar 70- sampai 0 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:

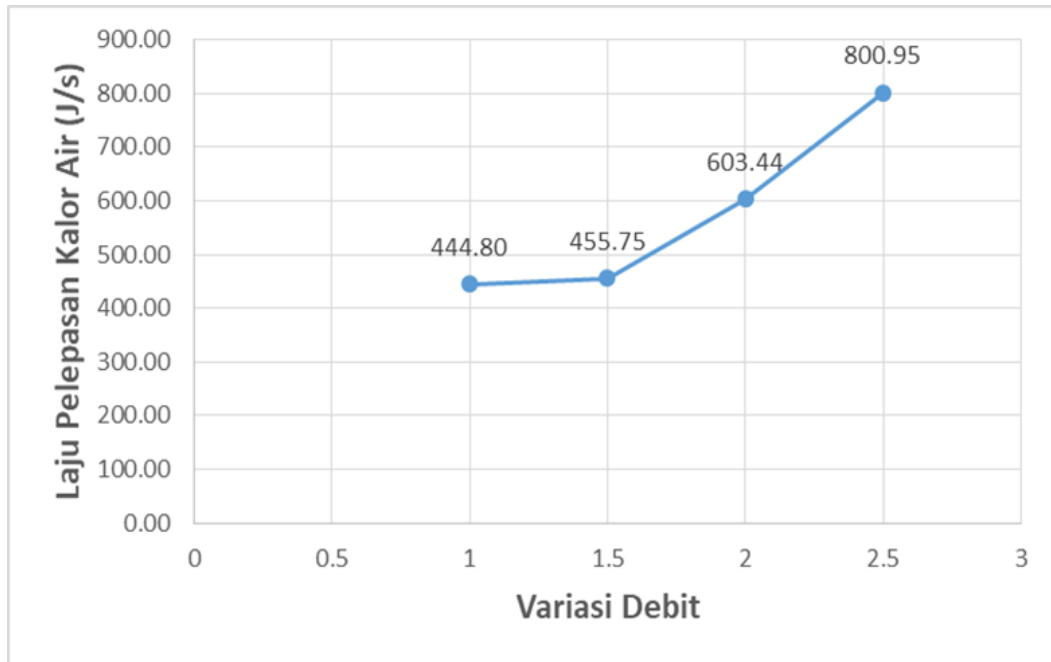
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (2)$$

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

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

Tabel 2. Laju Pelepasan Kalor Air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Wax	Q̇
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66.17	25.25	40.92	16585	7,377,020.99	550,521.99	444.80
1.5	65.37	27.46	37.91	74995	6,834,016.02	503,436.77	455.75
2	57.05	26.04	31.01	9265	5,590,905.07	268,424.51	603.44
2.5	66.72	28.00	38.72	8715	6,980,301.77	538,578.25	538.95



Gambar 13. Laju Pelepasan Kalor Air

Grafik pada gambar 13. Menunjukkan hasil penelitian bahwa grafik laju pelepasan kalor air paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 444,8 J/s karena memiliki waktu yang paling lama 4 jam 36 menit, sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM yaitu 800,95 J/s karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian yaitu 2 jam 25 menit dan memiliki ΔT yang besar yaitu 38,72°C sehingga nilai laju pelepasan kalor tinggi. Variasi 2,5 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 67°C yang membuat proses pelepasan kalor air lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 69°C.

### 3.5.2. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax

Laju pelepasan kalor pada *Paraffin Wax* dapat dicari dengan persamaan 2:

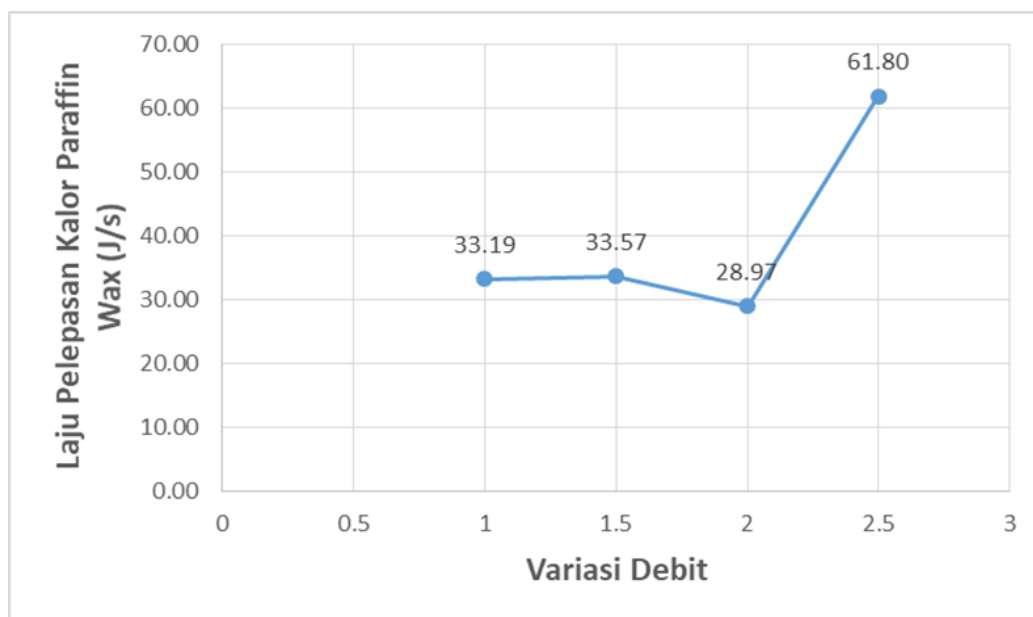
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = \frac{550,521.02}{16585}$$

$$\dot{Q} = 31.19 \text{ J/s}$$

Tabel 3. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax

V	T1 PCM	T2 PCM	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Wax	Q̇
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66.17	25.25	40.92	16585	7,377,020.99	550,521.99	33.19
1.5	65.37	27.46	37.91	14995	6,834,016.02	503,436.77	33.57
2	57.05	26.04	31.01	9265	5,590,905.07	268,424.51	28.97
2.5	66.72	28.00	38.72	8715	6,980,301.77	538,578.25	61.80



Gambar 14. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax

Hasil menunjukkan bahwa grafik laju pelepasan kalor pada *Paraffin Wax* paling rendah yaitu pada variasi 2 LPM yaitu 28,97 J/s. sedangkan laju pelepasan kalor terbesar pada variasi 2,5 LPM yaitu 61,79 J/s. Variasi 2,5 LPM memiliki laju pelepasan terbesar karena menggunakan debit besar sehingga memiliki perubahan suhu yang cepat dan mengalami pelepasan kalor sebesar 61,79 J/s, pada variasi 2 LPM memiliki nilai laju pelepasan kalor paling rendah karena suhu awal pengambilan data rendah dan nilai ΔT pada variasi 2 LPM rendah dibandingkan variasi lainnya.

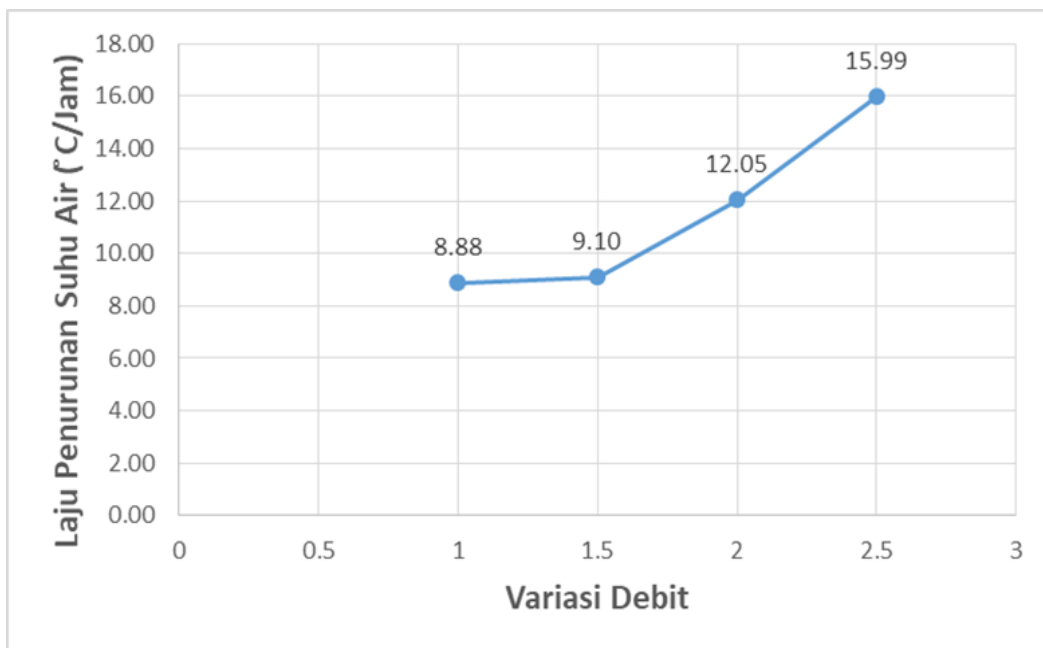
### 3.5.3. Laju Penurunan Suhu Air

Laju penurunan suhu pada air dapat dicari dengan persamaan 3.

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

Tabel 4. Laju Penurunan Suhu Air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Wax	Laju Penurunan Suhu Air
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(°C /J)
1	66.17	25.25	40.92	16585	7,377,020.99	550,521.99	8.88
1.5	65.37	27.46	37.91	14995	6,834,016.02	503,436.77	9.10
2	57.05	26.04	31.01	9265	5,590,905.07	268,424.51	12.05
2.5	66.72	28.00	38.72	8715	6,980,301.77	538,578.25	15.99



Gambar 15. Laju Penurunan Suhu Air

Grafik 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 jam 36 menit. Pada variasi 1,5 LPM tidak berbeda jauh dengan variasi sebelumnya yaitu 9,10 °C/jam namun pada variasi 2 LPM mengalami kenaikan suhu yang tinggi yaitu 12,05 °C/jam. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 15,99 °C/jam pada variasi 2,5 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian yaitu 2 jam 25 menit. Variasi 2,5 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 67 °C.

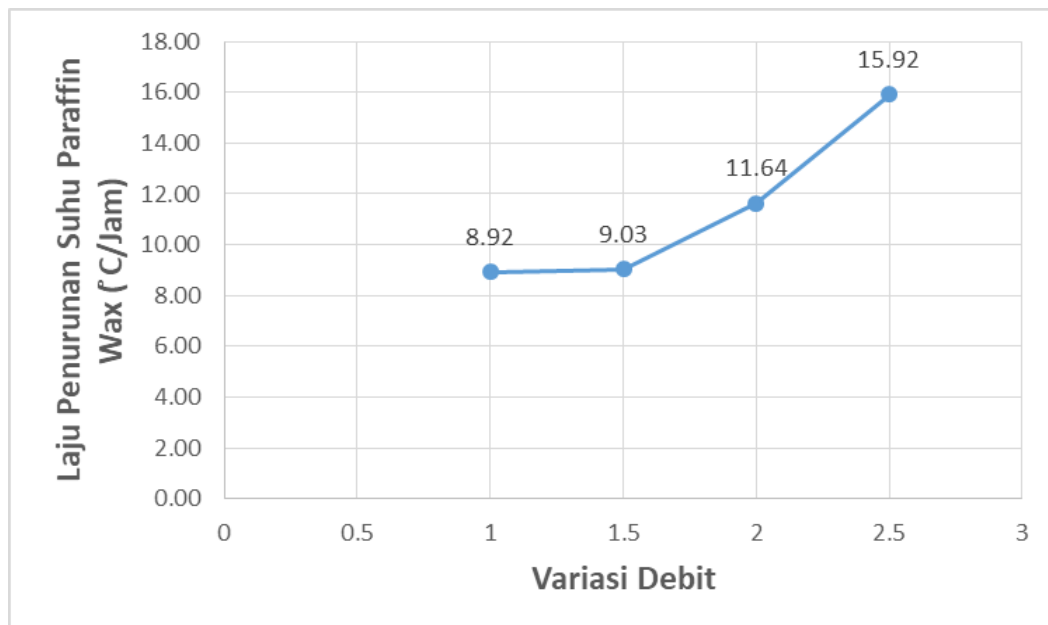
### 3.5.4.Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax

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

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

Tabel 5. Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax*

V	T1 PCM	T2 PCM	$\Delta T$	$\Delta t$	Q kum Air	Q Paraffin Wax	Laju Penurunan Suhu PW
LPM	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	(detik)	(J)	(J)	( $^{\circ}\text{C}/\text{J}$ )
1	66.17	25.25	40.92	16585	7,377,020.99	550,521.99	8.92
1.5	65.37	27.46	37.91	14995	6,834,016.02	503,436.77	9.03
2	57.05	26.04	31.01	9265	5,590,905.07	268,424.51	11.64
2.5	66.72	28.00	38.72	8715	6,980,301.77	538,578.25	15.92



Gambar 16. Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax

Grafik diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu Paraffin Wax paling rendah 8,92  $^{\circ}\text{C}/\text{jam}$  yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 4 jam 36 menit. Pada variasi 1,5 LPM tidak berbeda jauh dengan variasi sebelumnya yaitu 9,03  $^{\circ}\text{C}/\text{jam}$  namun pada variasi 2 LPM mengalami kenaikan suhu yang tinggi yaitu 12,05  $^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ . Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 15,99  $^{\circ}\text{C}/\text{jam}$  pada variasi 2,5 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian yaitu 2 jam 25 menit. Variasi 2,5 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 67  $^{\circ}\text{C}$ .

#### 4. Kesimpulan

Pengukuran laju pelepasan kalor secara bertahap pada tangki solar water heater dengan PCM paraffin wax 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 paling rendah yaitu pada variasi 2 LPM 28,97 J/s. Rendahnya nilai laju pelepasan kalor dipengaruhi oleh waktu pengujian, semakin lama maka akan semakin rendah nilainya. Sedangkan variasi 2,5 LPM memiliki laju pelepasan kalor air terbesar yaitu 800,95 J/s dan laju pelepasan kalor paraffin wax pada 2,5 LPM yaitu 61,79 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  $^{\circ}\text{C}$ .
2. Laju penurunan suhu air paling rendah pada 1 LPM yaitu 8,88  $^{\circ}\text{C}/\text{jam}$  dan laju penurunan suhu paraffin wax paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM 8,92  $^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ . Faktor yang mempengaruhi rendahnya nilai laju penurunan suhu air juga dipengaruhi oleh waktu pengujian, semakin lama maka akan semakin rendah

nilainya. Sedangkan variasi 2,5 LPM memiliki laju penurunan suhu air terbesar yaitu 15,99 °C/jam dan laju penurunan suhu paraffin wax terbesar pada 2,5 LPM yaitu 15,92 °C/jam. Besarnya nilai penurunan suhu pada variasi 2,5 LPM karena waktu pengujian yang singkat dari ketiga variasi lainnya.

## REFERENCES

### Journal:

- Agyenim, F., Hewitt, N., Eames, P. dan Smyth, M., 2010. "A Review of Materials, Heat Transfer and Phase Change Problem Formulation for Latent Heat Thermal Energy Storage Systems (LHTESS)". *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, pp. 615-628.
- 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.
- Cengel, Y.A., 2003. "Heat Transfer A Practical Approach Second Edition". Penerbit Mc Graw Hill, Inc.
- Dwivedi, V., 2009. "Thermal Modelling and Control of Domestic Hot Water Tank". Thesis Master of Science in Energy Systems and the Environment, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde Engineering.
- Farid, M.M., Khudhair, A.M., Razack, S.A.K. dan Al-Hallaj, S., 2004. "A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Application", *Journal of Energy Conversion and Management*, 45, pp.1597-1615.
- Gil, A., Medrano, M., Martorell, I., La´zaro, A., Dolado, P., Zalba, B. dan Cabeza, L.F., 2010. "State of the Art on High Temperature Thermal Energy Storage for Power Generation. Part 1—Concepts, Materials and Modellization". *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 31–55.
- Jamar, A., Majid, Z.A.A., Azmi, W.H., Norhafana, M. dan Razak, A.A., 2016. "A Review of Water Heating System for Solar Energy Applications", *Journal of International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, pp. 178-187.
- Jufrizal., Napitupulu, F.H., dan Ambarita, H., 2014. "Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar dengan Penambahan Thermal Energy Storage". *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder*, 1(2), pp. 27-36.
- Marsah, T.S., 2014. "Simulasi Pelelehan dan Pembekuan pada Phase Change Material didalam Pemanas Air Tenaga Surya dengan Menggunakan Metode Perhitungan Komputasi Dinamik". Skripsi Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara.
- Nadjib, M., 2016. "Penggunaan Paraffin Wax sebagai Penyimpan Kalor pada Pemanas Air Tenaga Matahari Thermosyiphon". *Jurnal Teknik Mesin Undip ROTASI*, 18(3), pp. 76-85.
- Sukamta., Nadjib, M., 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).

- Nadjib, M., dan Santosa, T.H.A., 2017. "Perilaku Termal Pemanas Air Tenaga Surya yang Berisi PCM pada Unit Tangki". Jurnal 5<sup>TH</sup> Urecol Proceeeding, ISBN 978-979-3812-42-7.
- Regin, A.F., Solanki, S.C., dan Saini, J.S., 2008. "Heat Transfer Characteristics of Thermal Energy Storage System Using PCM Capsules: A Review". *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, pp. 2438-2458.
- Regin, A.F., Solanki, C.S., Saini, J.S., 2009. "An Analysis of a Packed Bed Latent Heat Thermal Energy Storage System using PCM Capsule: Numerical Investigation". *Journal of Renewable Energy*, 34, pp. 1765-1773.
- 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.
- Shuangmao, W., Fang, G. dan Liu, X., 2011. "Dynamic Discharging Characteristics Simulation on Solar Heat Storage System with Spherical Capsules Using Paraffin as Heat Storage Material", *Journal of Renewable Energy*, 36, pp. 1190-1195.
- 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.
- 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.