

PENGUKURAN LAJU PELEPASAN KALOR SECARA BERTAHAP PADA TANGKI SOLAR WATER HEATER DENGAN PIPA BERISI CAMPURAN PARAFFIN WAX DAN SERBUK TEMBAGA 20% BERAT PADA VARIASI DEBIT AIR 1; 1,5; 2 & 2,5 LPM

Anas Nasirudin^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,
[a^{anasnasirudin@gmail.com}](mailto:ananasnasirudin@gmail.com), [b^{tiohas@yahoo.com}](mailto:btiohas@yahoo.com), [c^{nurcahyadi@gmail.com}](mailto:nurcahyadi@gmail.com)

Abstrak

Seiring berkembangnya peradaban, kebutuhan air panas untuk mandi digunakan pada hotel, homestay, dan lain-lain semakin meningkat. Tetapi, penggunaan air panas di hotel mayoritas masih bergantung dengan gas LPG sebagai bahan bakar. Oleh karena itu digunakanlah Solar Water Heater (SWH) karena alat tersebut menggunakan energi radiasi matahari sebagai pengganti energi fosil. Di samping itu air juga memiliki kekurangan yaitu densitas yang tinggi sehingga membutuhkan PCM (Phase Change Material) untuk mengurangi berat air tersebut. Material PCM itu sendiri berupa campuran paraffin wax dan serbuk tembaga 20% berat. Tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui laju penurunan suhu air, laju penurunan suhu PCM, laju pelepasan kalor air, dan laju pelepasan kalor PCM.

Penelitian ini memakai variasi debit air antara lain 1; 1,5; 2; hingga 2,5 LPM. Pengambilan data dilakukan secara discharging bertahap setiap lima menit air kran dibuka kemudian lima menit ditutup dan pengambilan data dilakukan dengan cara yaitu ketika suhu di dalam tangki mencapai 70 °C hingga berakhir ketika suhu pada bak penampung mencapai 35 °C. Data yang dipakai saat proses discharging adalah suhu air pada tangki, PCM pada tangki dan air pada bak penampungan.

Hasil dari penelitian ini adalah variasi 2,5 LPM memiliki laju penurunan suhu air paling tinggi yaitu 18,65 °C/jam dan laju penurunan suhu PCM paling tinggi pada variasi 2,5 LPM yaitu 18,77 °C/jam. Sedangkan laju pelepasan kalor air paling tinggi pada 2,5 LPM yaitu 933,91 J/s dan laju pelepasan kalor PCM paling tinggi pada 2,5 LPM yaitu 69,37 J/s.

Kata Kunci: SWH, PCM, discharging bertahap,

Abstract

As civilization develops, the need for hot water for bathing is used in hotels, homestays, and others is increasing. However, the use of hot water in hotels is still largely dependent on LPG gas as fuel. Therefore, Solar Water Heater (SWH) is used because it uses solar radiation energy as a substitute for fossil energy. In addition, water also has the disadvantage of high density so it requires PCM (Phase Change Material) to reduce the density of the water. The PCM material itself is a mixture of paraffin wax and 20% by weight copper powder. The purpose of this study is to determine the rate of decrease in temperature of water, the rate of decrease in temperature of PCM, the rate of release of water heat, and the rate of release of heat of PCM.

This study uses variations in water discharge, including 1; 1,5; 2; up to 2.5 LPM. Data collection is done by discharging gradually or every five minutes the tap water is opened then five minutes are closed and starts when the temperature in the cage reaches 70 °C until it ends when the temperature in the reservoir reaches 35 °C. The data used during the discharging process are the temperature of the water in the tank, PCM in the tank and the water in the reservoir.

The results of this study are the 2.5 LPM variation has the highest rate of water temperature reduction that is 18.65 °C / hour and the highest rate of PCM temperature reduction at 2.5 LPM variation is 18.77 °C / hour. While the highest rate of water release at 2.5 LPM was 933.91 J / s and the highest rate of PCM heating at 2.5 LPM was 69.37 J / s.

Keywords: SWH, PCM, discharging discontinuous

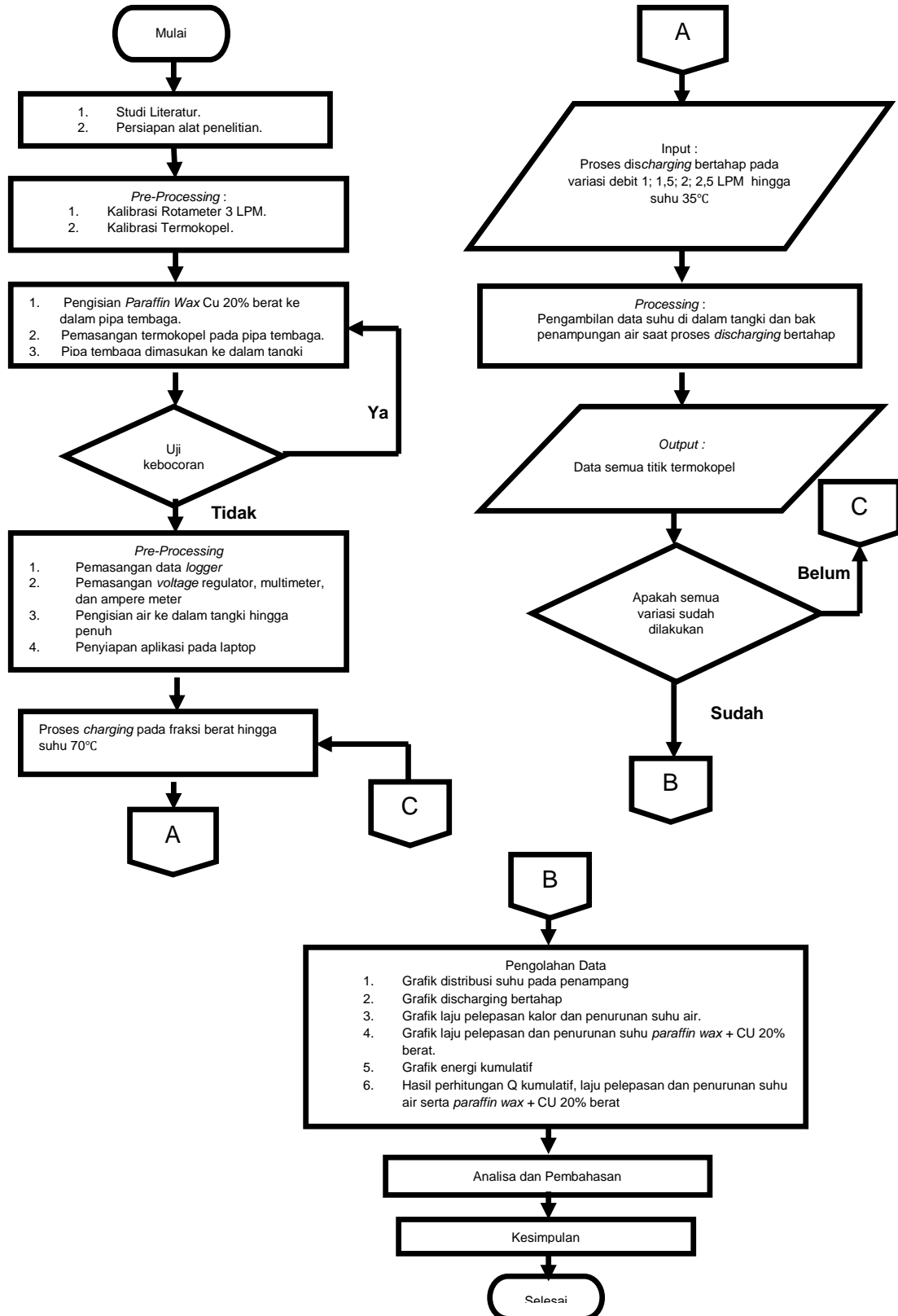
1. Pendahuluan

Seiring perkembangan zaman, kebutuhan akan air semakin meningkat. Air digunakan manusia untuk bermacam kebutuhan seperti mandi, minum, mencuci, memasak, dan sebagainya. Air panas yang digunakan untuk mandi merupakan salah satu contoh dalam kehidupan sehari-hari. Manfaat dari air yang dipanaskan pada temperatur 32°C hingga 38°C yaitu mengontrol kadar gula dalam darah, membuang toksin dengan cara membuka pori – pori kulit, melemaskan otot, meningkatkan kinerja usus besar dan mengurangi stres (Jufrizal dkk, 2015). Dari berbagai manfaat tersebut, maka sudah sepantasnya masyarakat mengaplikasikan alat pemanas air dirumah.

Pada umumnya alat tersebut menggunakan bahan bakar LPG yang berasal dari minyak bumi. Kekurangan minyak bumi yaitu tidak dapat diperbaharui (unrenewable resource). Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan energi dari radiasi matahari yang disebut solar water heater (SWH). Dalam penggunaan solar water heater dibutuhkan tempat penyimpanan air yang disebut thermal energy storage (TES), karena densitas air yang tinggi sehingga konstruksinya berat. Oleh sebab itu dibutuhkan tangki TES tipe latent heat storage (LHS) yang didalamnya terdapat paraffin wax.

Paraffin wax adalah material yang mempunyai densitas energi yang cukup tinggi (~ 200 kJ/kg) dan konduktivitas termal rendah (~ 0,2 W/m°C); sifat termal stabil di bawah 500°C; tidak reaktif dan melting temperature pada beberapa produk paraffin wax bervariasi mulai 8 °C sampai 106 °C (Nadjib dkk, 2015), serta memiliki siklus termal yang bertahan selama 1500 siklus (Sharma dkk, 2009). Tetapi paraffin wax juga memiliki kelemahan yaitu konduktivitas yang rendah menyebabkan lambatnya kenaikan temperatur saat proses discharging. Cara mengatasi kelemahan tersebut dengan menambahkan serbuk tembaga yang memiliki konduktivitas termal sebesar 401 W/mK atau sebesar 4,01 W/cm°C (Stephen dkk, 1995). Tujuan menambahkan serbuk tembaga guna mempercepat kenaikan temperatur saat proses discharging. Oleh sebab untuk meningkatkan kinerja SWH membutuhkan tangki TES berisi campuran serbuk tembaga dan paraffin wax pada proses discharging secara bertahap.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

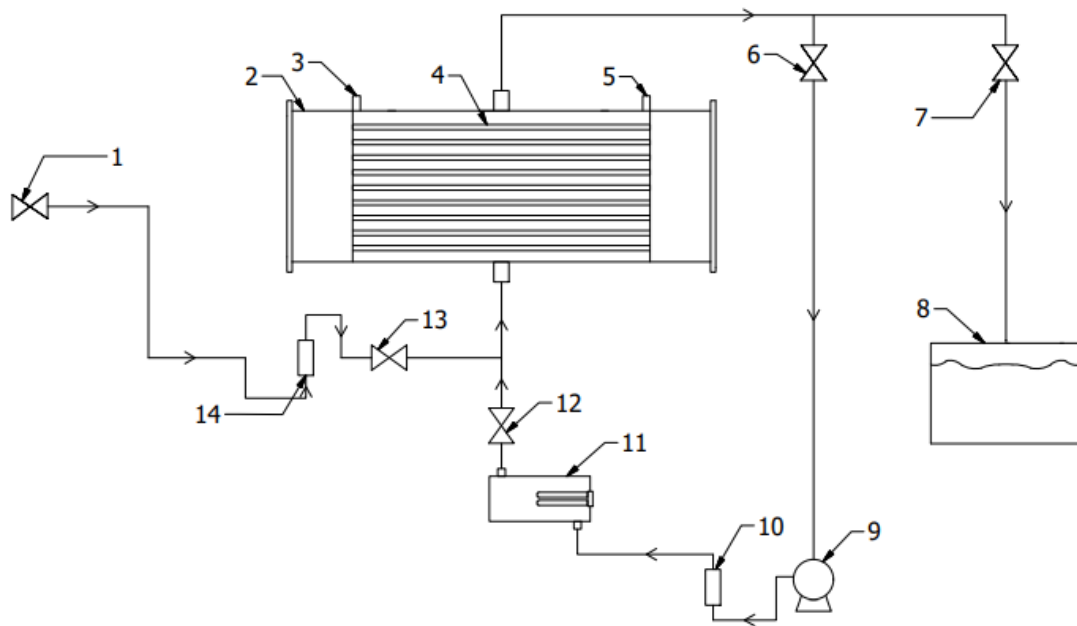
Parameter yang digunakan untuk penelitian ini adalah debit air 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM. Pengambilan data dilakukan dengan cara *discharging* bertahap dimana setiap lima menit air kran dibuka kemudian lima menit ditutup kembali. Pengambilan data dimulai pada suhu di dalam tangki TES 70 °C dan berakhir 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 2. 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.



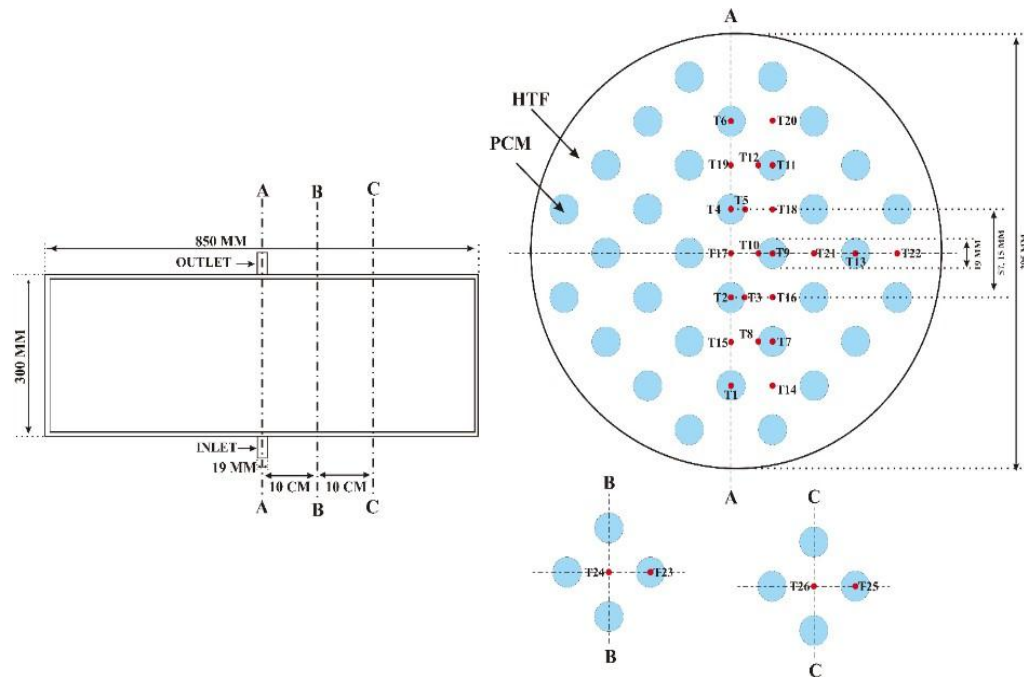
Gambar 3. Skema Proses *Discharging* Bertahap

Keterangan nomor pada Gambar 3:

- (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 20% selesai dengan mengebor pipa tembaga pada bagian yang sudah ditetapkan. Letak pemasangan termocouple mengikuti gambar desain penempatan *termocouple* yang ditunjukkan pada gambar 4.

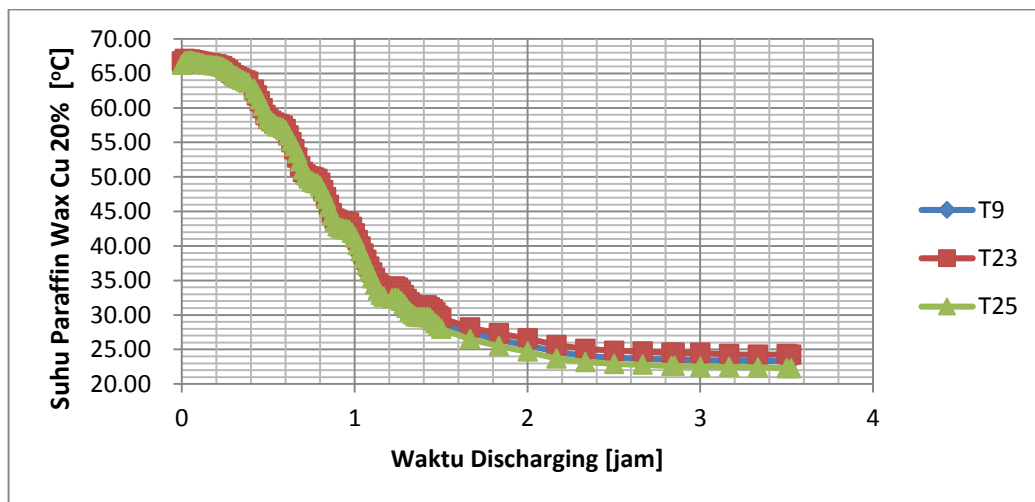


Gambar 4. Peletakan Termokopel

3. Hasil dan Pembahasan

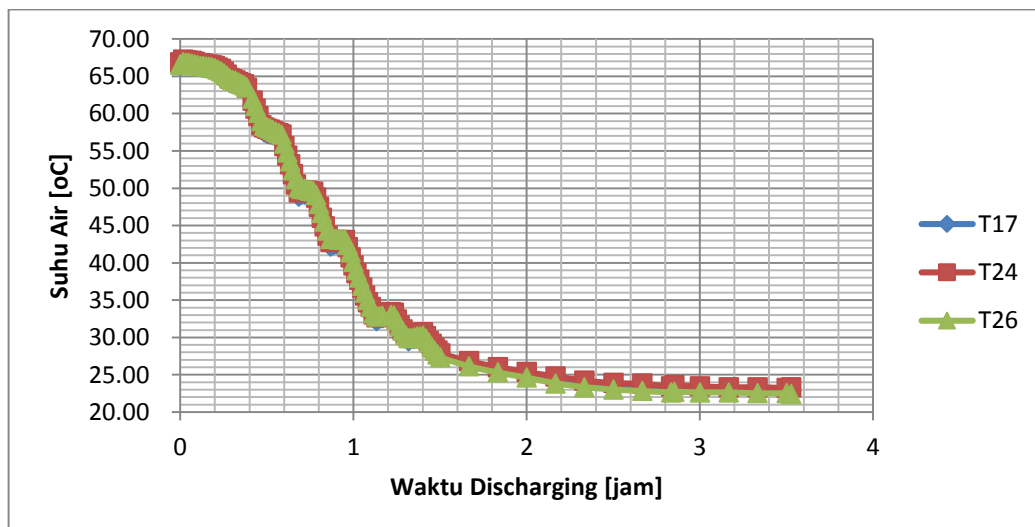
3.1 Laju Penurunan Suhu Campuran PW + 20% Cu dalam Arah Aksial

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu penurunan suhu campuran paraffin wax dengan serbuk tembaga fraksi berat 20% dan penurunan suhu pada air. Grafik penurunan suhu pada PCM dilihat pada gambar 5 sedangkan grafik penurunan suhu air dilihat pada gambar 6



Gambar 5. Laju penurunan Suhu Campuran PW + 20% Cu dalam Arah Aksial

Grafik menunjukkan bahwa suhu ketiga termokopel mengalami penurunan pada 0,5 jam paraffin wax Cu 20%. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalor dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan.



Gambar 6. Laju penurunan Suhu Air dalam Arah Aksial

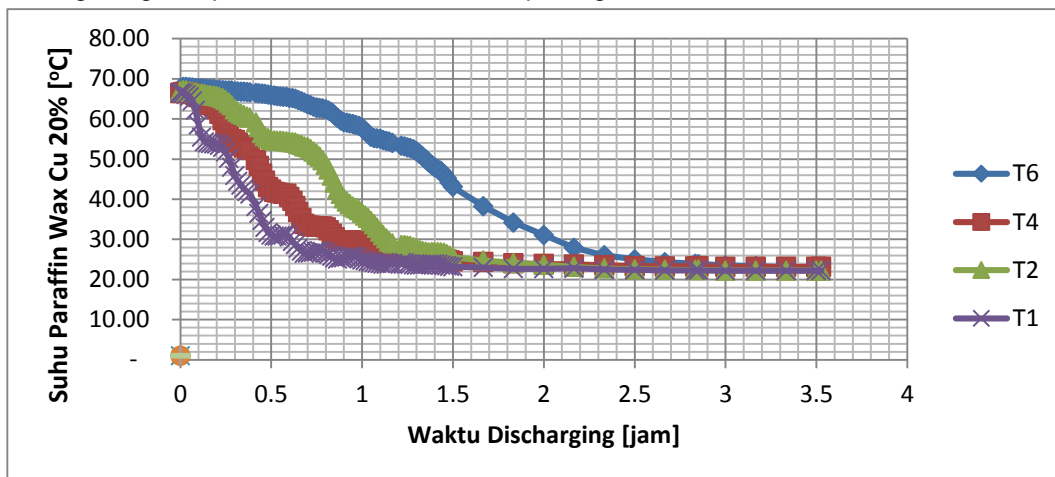
Grafik aksial air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik aksial paraffin wax Cu 20%. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses discharging bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Setelah kran air ditutup maka air menyerap panas dari PCM sehingga saat kran dibuka suhu rata-

rata mengalami kenaikan 1-2 °C pada waktu 0,5-1,4 jam dan setelah waktu 1,5-3,5 jam suhu dalam tangki konstan pada 23 °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 20% 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 besa

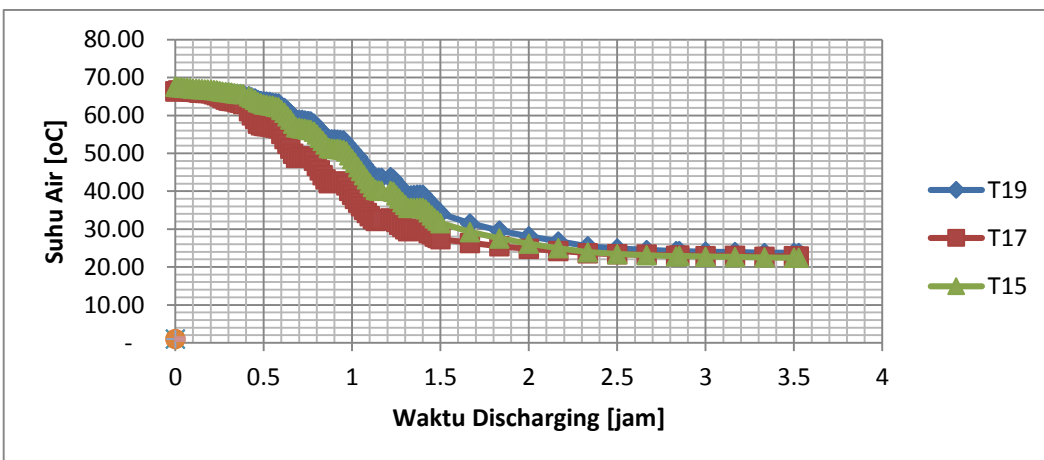
3.2 Laju penurunan Suhu Campuran PW + 20% Cu dalam Arah Vertikal

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu penurunan suhu campuran paraffin wax dengan serbuk tembaga fraksi berat 20% dan penurunan suhu pada air. Grafik penurunan suhu pada PCM dilihat pada gambar 7 sedangkan grafik penurunan suhu air dilihat pada gambar 8



Gambar 7. Laju penurunan suhu campuran PW + 20% Cu dalam Arah Vertikal

Suhu pada T1 saat pengambilan data mengalami penurunan yang signifikan dan suhu dari T1 paling rendah dari tiga termokopel lainnya. Rendahnya suhu T1 diakibatkan posisi kapsul tembaga yang berada pada paling dekat dengan input air ke tangki TES. Sedangkan suhu dari T6 relatif konstan karena letak kapsul tembaga paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T6 pada 0-1 jam berkisar 11 °C, suhu T4 berkisar 40 °C, suhu T2 berkisar 32 °C, dan suhu T1 pada berkisar 38 °C. Sehingga pelepasan kalor yang paling cepat terjadi pada T1.

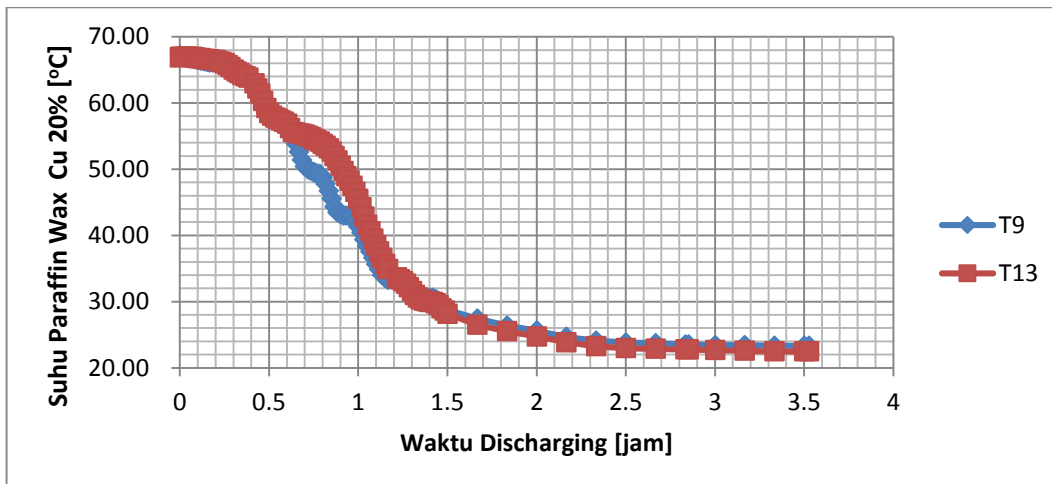


Gambar 8. Laju penurunan Suhu Air dalam Arah Vertikal

Suhu pada T17 ketika pengambilan data mengalami penurunan suhu lebih cepat dibandingkan T15 dan T19. Karena T17 dipengaruhi oleh letak termokopel, letak T17 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 T17.

3.3 Laju penurunan Suhu Campuran PW + 20% Cu dalam Arah Horisontal

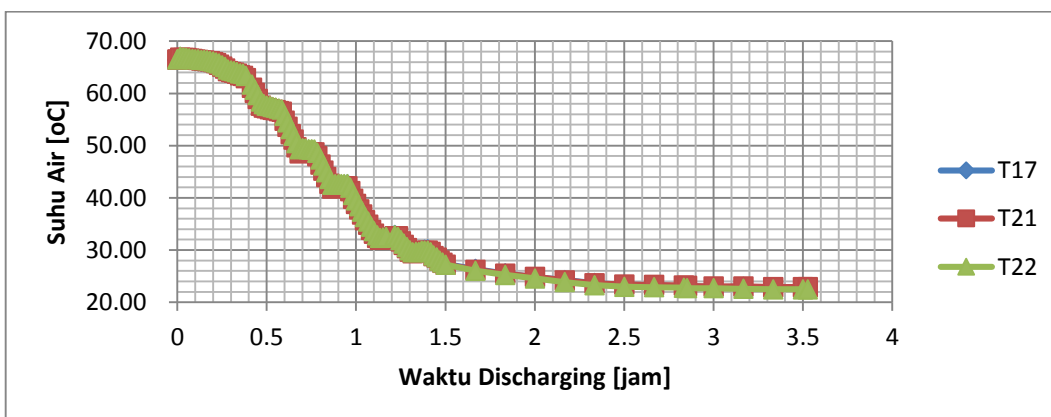
Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah horisontal terdapat dua grafik yaitu penurunan suhu campuran paraffin wax dengan serbuk tembaga fraksi berat 20% dan penurunan suhu pada air. Grafik penurunan suhu pada PCM dilihat pada gambar 9 sedangkan grafik penurunan suhu air dilihat pada gambar 10



Gambar 9. Laju penurunan Suhu Campuran PW + 20% Cu dalam Arah

Suhu pada kedua termokopel dari 0-0,6 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu kurang lebih mencapai 1 °C. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat kedua termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar. Pada waktu 0,6-1,2 jam suhu T13 lebih tinggi dari T9 yang mengalami penurunan suhu yang cukup drastis. 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 0,6-1,2 jam T9 mengalami penurunan yang cukup signifikan. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran dihentikan..



Gambar 10. Laju penurunan Suhu Air dalam Arah Horisontal

Grafik tersebut menunjukkan bahwa cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik horisontal paraffin wax Cu 20%. Hal itu dipengaruhi oleh

proses discharging bertahap (per 5 menit) saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Kenaikan suhu terjadi dari 0,4-1,5 jam dan selanjutnya ketiga termokopel mengalami penurunan suhu stabil hingga selesai pengujian.

Suhu ketiga termokopel tidak mengalami perbedaan yang signifikan karena penggunaan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu kurang lebih 1-2 °C. Oleh sebab itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar pula

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.

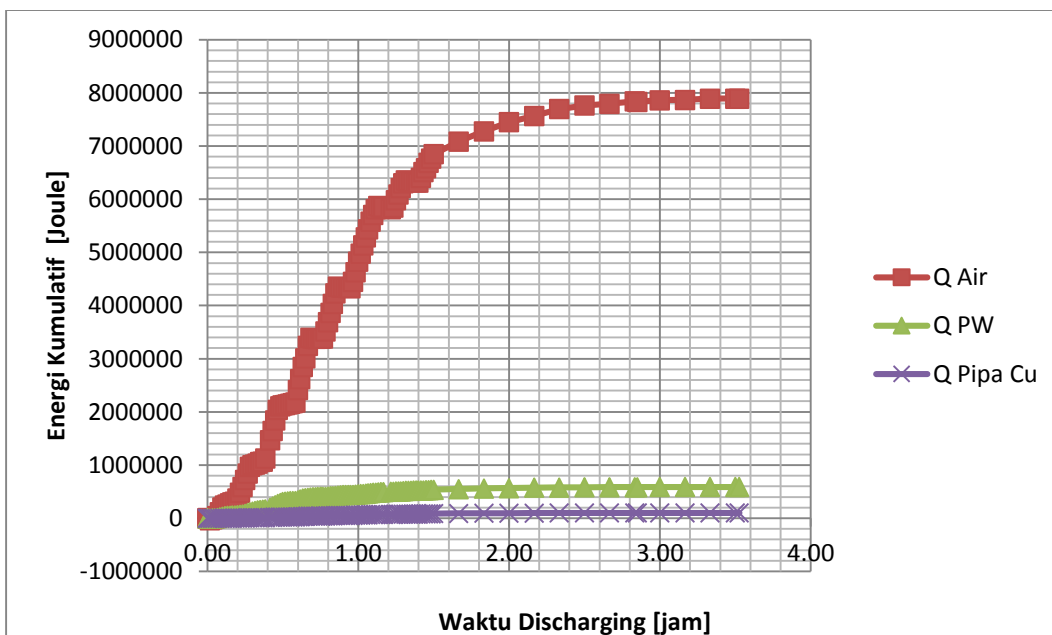
$$Q_{(kum)} = (m \times cp \times \Delta T) \tag{1}$$

$$Q_{(kum)} = 43.13 \times (4180 \times (66.67 - 22.89))$$

$$Q_{(kum)} = 7.893.898 \text{ J}$$

Tabel 1 Energi Kumulatif 1 LPM

Bahan	cp	Massa	T1	T2	ΔT	Q kum
	[J/(kg.K)]					
Air	4180	43.13	66.67	22.89	43.78	7.893.898
Pipa Cu	390	5.91	66.85	22.63	44.22	101.864,94
PW+20%Cu	1678	9.89	66.99	22.81	44.18	1.565.130,50



Gambar 11. Grafik Energi Kumulatif

Grafik pada Q pipa Cu lebih rendah dari air dan paraffin wax Cu karena nilai Cp yang rendah sekitar 390 J/kg.K, sedangkan nilai Cp air 4180 J/kg.K dan Cp Paraffin Wax Cu 20 % 1678 J/kg.K. Grafik Q Paraffin Wax Cu 20% mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,4 jam sebanyak 5-10 kJ, setelah 0,4 jam laju kenaikan hanya sebesar 2-3 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa Cu mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 0.2-0.4 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-1,6 jam sebesar 80-90 kJ, setelah 1,6 jam mengalami kenaikan suhu yang relatif 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:

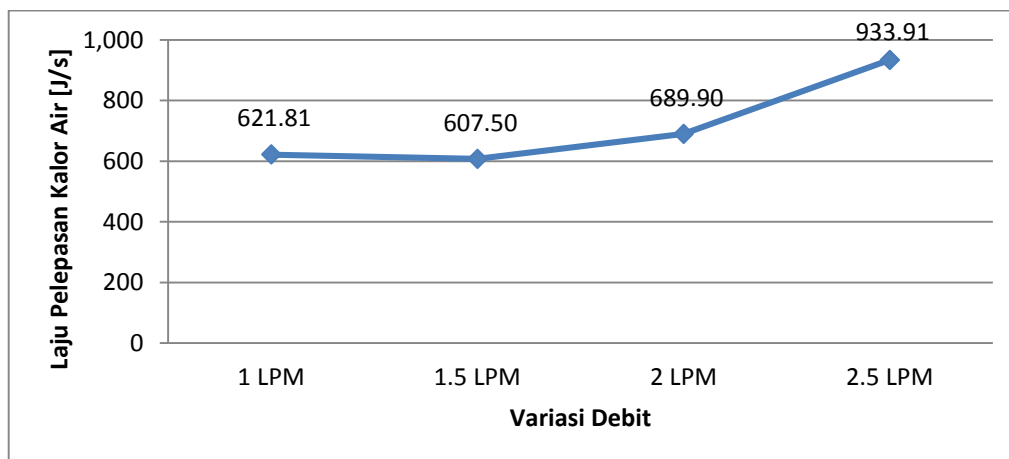
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = \frac{7.893.898}{12695}$$

$$\dot{Q} = 621,8 \text{ J/s}$$

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	66,67	22,89	43,78	12695	7.893.898	1.565.131	621,8
1.5	65,99	25,37	40,62	12055	7.323.463	551.559	607,5
2	66,74	24,34	42,40	11080	7.644.122	546.471	689,9
2.5	66,58	23,69	42,89	8280	7.732.742	557.832	933,9



Gambar 12. Laju Pelepasan Kalor Air

Grafik diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor paling rendah yaitu pada variasi 1,5 LPM karena memiliki suhu T akhir yang lebih tinggi. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM karena memiliki suhu T akhir yang lebih rendah dari semua variasi. Variasi 2,5 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses discharging 66,71 °C. Pengambilan data pada variasi 2,5 LPM mencapai 2,3 jam.

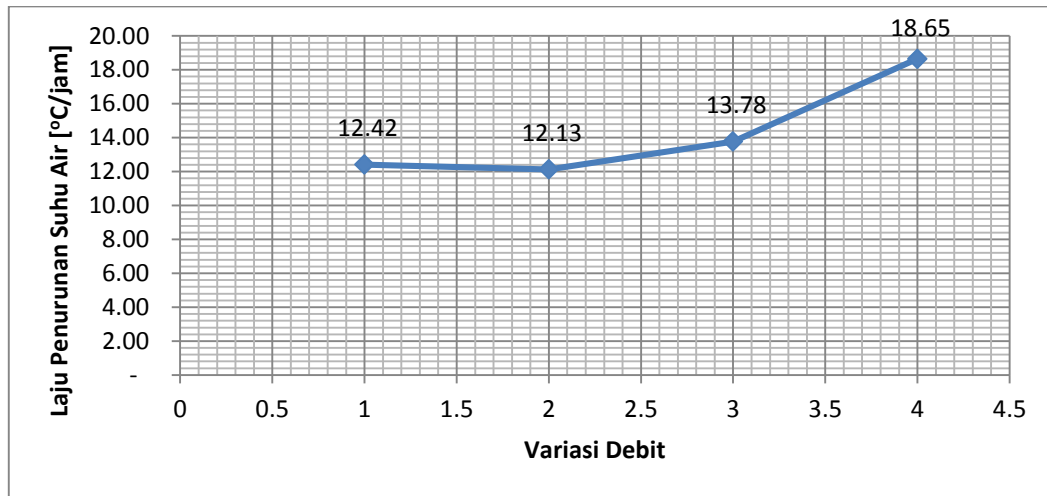
3.5.2. Laju Penurunan suhu Air

Laju penurunan suhu pada air dapat dicari dengan persamaan 2:

$$\begin{aligned} \text{Laju penurunan suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} \\ &= \frac{(66,67 - 22,89) \times 3600}{12695} \\ &= 12,42 \text{ } ^\circ\text{C/jam} \end{aligned}$$

Tabel 3. Laju penurunan suhu air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 20%	Q pipa Cu
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J)
1	66,67	22,89	43,78	12695	7.893.898	1.565.131	101.865
1.5	65,99	25,37	40,62	12055	7.323.463	551.559	94.133
2	66,74	24,34	42,40	11080	7.644.122	546.471	97.778
2.5	66,58	23,69	42,89	8280	7.732.742	557.832	99.456



Gambar 13. Grafik laju penurunan suhu air

Grafik diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu air paling rendah 12,13°C/jam yaitu pada variasi 1,5 LPM karena memiliki Ti yang paling tinggi diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 18,65°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 2,3 jam.

3.5.3. Laju Pelepasan Kalor Paraffin dan Laju Penurunan Suhu Paraffin

Laju pelepasan kalor pada paraffin wax Cu 20% dapat dicari dengan persamaan 3.

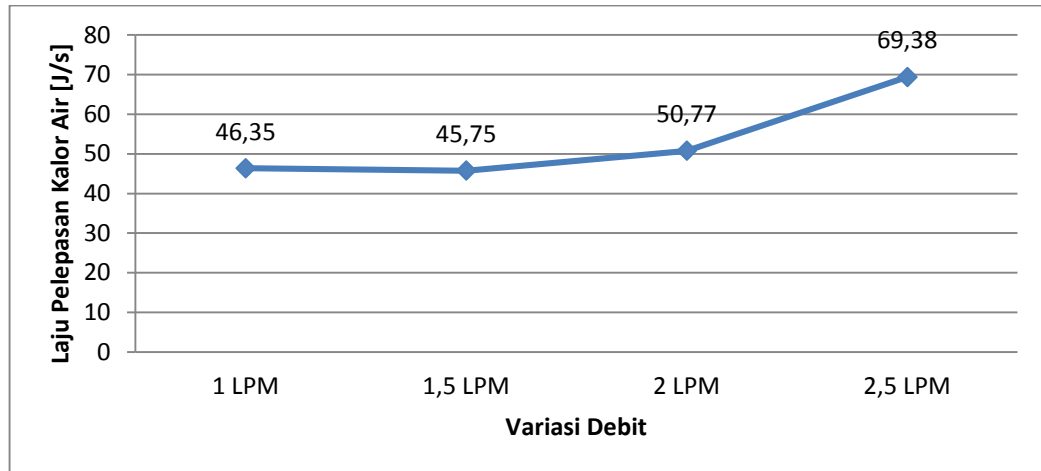
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{1.565.131}{12695}$$

$$\dot{Q} = 123,28 \text{ J/s}$$

Tabel 4. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax Cu 20%

V	T1 PCM	T2 PCM	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 20%	Q̇
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66,99	22,81	44,18	12695	7.893.898	1.565.131	123,28
1.5	66,22	25,22	41	12055	7.323.463	551.559	13,27
2	66,38	24,27	42,11	11080	7.644.122	546.471	49,32
2.5	66,71	23,53	43,18	8280	7.732.742	557.832	67,37



Gambar 14. Laju Pelepasan kalor paraffin

Grafik diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor paling rendah yaitu pada variasi 1,5 LPM karena memiliki suhu T_i yang lebih tinggi. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM karena memiliki suhu T_i yang lebih rendah dari semua variasi. Variasi 2,5 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses discharging 65,99 °C. Pengambilan data pada variasi 2,5 LPM mencapai 2,3 jam

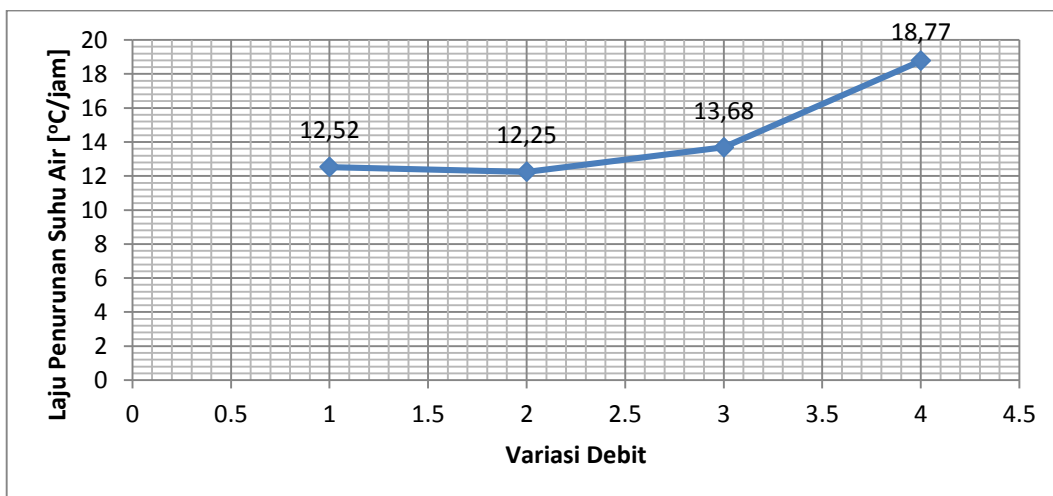
3.5.4. Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax + Cu 20% berat

Laju penurunan suhu pada *paraffin wax* Cu 20% dapat dicari dengan persamaan 3

$$\begin{aligned} \text{Laju Penurunan Suhu} &= ((T_{\text{awal}} - T_{\text{akhir}}) \times 3600) / t_{\text{total}} \\ &= ((66,99 - 22,81) \times 3600) / 12695 \\ &= 12,52 \text{ C/jam} \end{aligned}$$

Tabel 5. Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax Cu 20%*

V	T1 PCM	T2 PCM	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 20%	Q pipa Cu
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J)
1	66,99	22,81	44,18	12695	7.893.898	1.565.131	101.865
1.5	66,22	25,22	41	12055	7.323.463	551.559	94.133
2	66,38	24,27	42,11	11080	7.644.122	546.471	97.778
2.5	66,71	23,53	43,18	8280	7.732.742	557.832	99.456



Gambar 15. Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax Cu 20*

Grafik diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu paraffin paling rendah 12,25 °C/jam yaitu pada variasi 1,5 LPM karena memiliki T_i yang paling tinggi diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu paraffin terbesar 18,77 °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 2,3 jam.

4. Kesimpulan

Pengukuran laju pelepasan kalor secara bertahap pada tangki solar water heater dengan variasi campuran paraffin wax dan serbuk tembaga 20% massa pada debit air 1; 1,5; 2 & 2,5 LPM telah dilaksanakan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Laju penurunan temperatur maupun laju pelepasan kalor pada arah vertikal adalah yang terbesar daripada arah horizontal ataupun aksial. Karena posisi titik termokopel yang paling dekat dengan input air kran (titik T1, T2, T4, T6).
2. Laju pelepasan kalor air terbesar terjadi pada debit air 2,5 LPM yaitu dengan nilai 933,91 J/s dan laju pelepasan kalor paraffin terbesar terjadi pada debit 2,5 LPM dengan nilai 69,38 J/s.
3. Laju penurunan suhu air terbesar terjadi pada debit air 2,5 LPM yaitu dengan nilai 18,65 °C dan laju penurunan suhu paraffin terbesar terjadi pada debit 2,5 LPM dengan nilai 18,77 °C.
4. Laju pemulihan suhu dan laju penurunan suhu sama-sama dipengaruhi oleh debit air yang digunakan. Semakin besar debit air, maka semakin besar pula nilai laju penurunan maupun nilai laju pelepasan yang diperoleh.
5. Laju pemulihan temperatur air tercepat terjadi pada debit 2,5 LPM yaitu rata-rata sebesar 18,65 °C/jam karena memiliki waktu discharging tercepat yaitu 2,3 jam. Jadi, semakin besar debit yang digunakan maka semakin besar pula laju pemulihan temperatur air dan waktu discharging menjadi lebih cepat.
6. Dari semua variasi debit air, laju pelepasan kalor dan laju penurunan suhu terbesar terjadi pada arah vertikal yaitu pada titik T1 dengan rata-rata dari semua variasi debit sebesar 42 °C. Hal itu disebabkan karena posisi T1 adalah titik termokopel yang paling dekat dengan input air kran, sehingga pelepasan kalor maupun penurunan suhu menjadi lebih cepat pada posisi termokopel tersebut.

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] Alomair Muath A., Alomair Yazeed A., Abdullah Husein A., Mahmud Shohel, dan Tasnim Syeda (2017). *Nanoparticle Enhanced Phase Change Material in Latent Heat Thermal Energy Storage System: An Experimental Study*. *Proceedings of the International Conference of Energy Harvesting, Storage, and Transfer*, 119, 21-23
- [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.

