

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

Muhammad Dzaky Mubarak^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,
^adzakymubarak95@gmail.com, ^btitoahas@yahoo.com, ^cnurcahyadi@gmail.com

Abstrak

Solar Water Heater (SWH) adalah teknologi yang dapat digunakan sebagai pemanas air dengan memanfaatkan energi matahari. SWH konvensional menggunakan air sebagai media penyimpan kalor. Tetapi penggunaan air sebagai penyimpan kalor memiliki kekurangan diantaranya densitas energinya rendah sehingga memerlukan volume yang besar. Untuk mengatasi masalah tersebut penelitian ini menggunakan phase change material (PCM) untuk menyimpan panas. PCM yang digunakan adalah paraffin wax dan serbuk tembaga 20%. 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 pada variasi debit air 1; 1,5; 2; 2,5 LPM. Data penelitian didapatkan dari pembacaan suhu termokopel yang terpasang pada pipa tembaga dengan pembacaan arah aliran pada setiap penampang aksial, vertikal, dan horisontal. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa laju pelepasan air terendah yaitu dengan debit 1 LPM. Nilai laju pelepasan air (7.275.700,69 J/s) dan laju pelepasan PCM (550.913,12 J/s), sedangkan nilai laju pelepasan air terbesar yaitu dengan debit 2,5 LPM. Nilai laju pelepasan air (7.645.078,74 J/s) dan laju pelepasan PCM (581.667,51 J/s). Laju penurunan suhu air terendah yaitu dengan debit 1 LPM. Nilai laju penurunan suhu air (22,15°C/jam) dan laju penurunan suhu PCM (22,42°C/jam), sedangkan nilai laju penurunan suhu air terbesar yaitu dengan debit 2,5 LPM. Nilai laju penurunan suhu air (33,46°C/jam) dan laju penurunanan suhu PCM (33,83°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. Conventional SWH uses water as a heat storage media. But the use of water as a heat storage has shortcomings including low energy density so it requires large volumes. To overcome this problem, this study uses phase change material (PCM) to store heat. The PCM used is paraffin wax and 20%. 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.

Continuous discharging research was conducted on variations in water discharge 1; 1,5; 2; 2.5 LPM. The research data were obtained from thermocouple temperature readings mounted on copper pipes with flow direction readings on each axial, vertical and horizontal section. From the results of the study it was found that the lowest water release rate is 1 LPM discharge. The value of water release rate (7,275,700.69 J/s) and the release rate of PCM (550.913,12 J/s), while the largest value of water release rate is 2,5 LPM discharge. The value of water release rate (7,645,078.74 J / s) and the release rate of PCM (581.667,51 J/s). The lowest rate of water temperature reduction is with a discharge of 1 LPM. The rate of decrease in water temperature (22,15°C/hour) and the rate of decrease in temperature of PCM (22.42°C/hour), while the value of the rate of decrease in water temperature is the largest with a discharge of 2.5 LPM. The rate of decrease in water temperature (33,46°C/hour) and the rate of decrease in PCM temperature (33,83°C/hour).

Keywords: SWH, PCM, continuous discharging

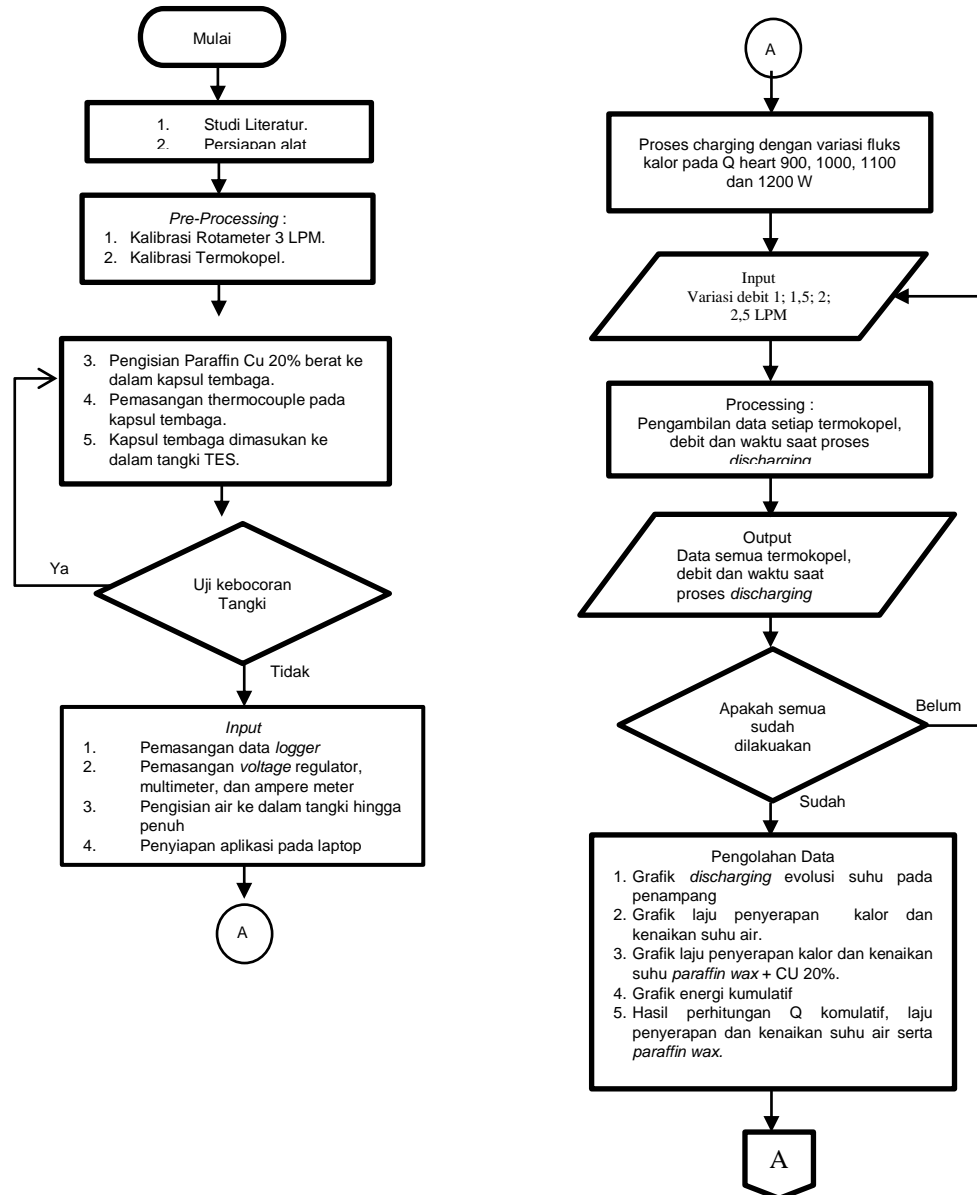
1. Pendahuluan

Setiap makhluk hidup yang ada di bumi sangat membutuhkan air, tak terkecuali manusia. Air oleh manusia terutama digunakan untuk konsumsi selain itu juga digunakan untuk mencuci, mandi, dan lain-lain. Untuk kebutuhan mandi seiring dengan perkembangan zaman penggunaan air panas untuk mandi sangat pesat digunakan pada hotel, *homestay*, terutama rumah sakit. Selain untuk menjaga badan tetap hangat mandi menggunakan air panas akan memberikan manfaat yang banyak bagi tubuh seperti merileksasi otot, menghilangkan stress karena aktivitas sehari-hari, menurunkan tingkat gula darah dalam tubuh, membuka pori-pori tubuh dan mengeluarkan toksin dan lain sebagainya (Jufrizal dkk, 2015). Berdasar dari banyaknya manfaat air panas bagi tubuh, sekarang kebutuhan akan alat pemanas air juga meningkat. Namun, pada penggunaannya masih banyak menggunakan tenaga listrik dan bahan bakar gas LPG yang memanfaatkan bahan bakar fosil. Sehingga diperlukan *Solar Water Heater* (SWH), karena SWH menggunakan panas matahari untuk memanaskan air. Saat tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 W/m^2 . (Yuliananda, S dkk 2015). Berdasarkan hasil dari kekuatan radiasi tersebut, maka alternatif yang dapat digunakan selain dari energi matahari yaitu dapat menggunakan heater dengan kapasitas daya yang dihasilkan sebesar 1500 Watt sebagai energi utama penelitian ini.

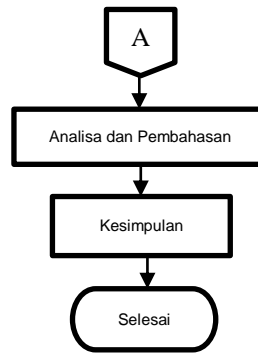
Untuk mengoptimalkan fungsi dari SWH kita perlu menambahkan tangki *Thermal Energy Storage* (TES). Tangki TES yang dipakai adalah tipe *Laten Heat Storage* (LHS) yang berisi *paraffin wax*. *Paraffin wax* merupakan suatu material yang mempunyai densitas energi yang cukup tinggi ($\sim 200 \text{ kJ/kg}$) dan konduktivitas termalnya rendah ($\sim 0,2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), sifat termalnya stabil dibawah 500°C , tidak berbahaya dan tidak reaktif dan temperatur leleh *paraffin wax* bervariasi antara 8°C sampai 106°C (Najib dkk, 2015), siklus termal dari *paraffin wax* mampu bertahan hingga 1500 siklus (Sharma dkk, 2009).

Akan tetapi kelemahan dari penggunaan *paraffin wax* adalah konduktivitasnya rendah yang menyebabkan lambatnya kenaikan temperatur pada saat proses charging. Untuk mengatasinya maka diperlukan tambahan material yang memiliki konduktivitas termal tinggi yaitu serbuk tembaga, serbuk tembaga memiliki konduktivitas termal sebesar 401 W/m K atau sebesar $4,01 \text{ W/cm}^\circ\text{C}$ (Stephen dkk, 1995). Penambahan serbuk tembaga yang dicampur dengan *paraffin wax* bertujuan untuk mempercepat kenaikan temperatur pada saat proses discharging secara bertahap sehingga fungsi dari SWH akan lebih optimal.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

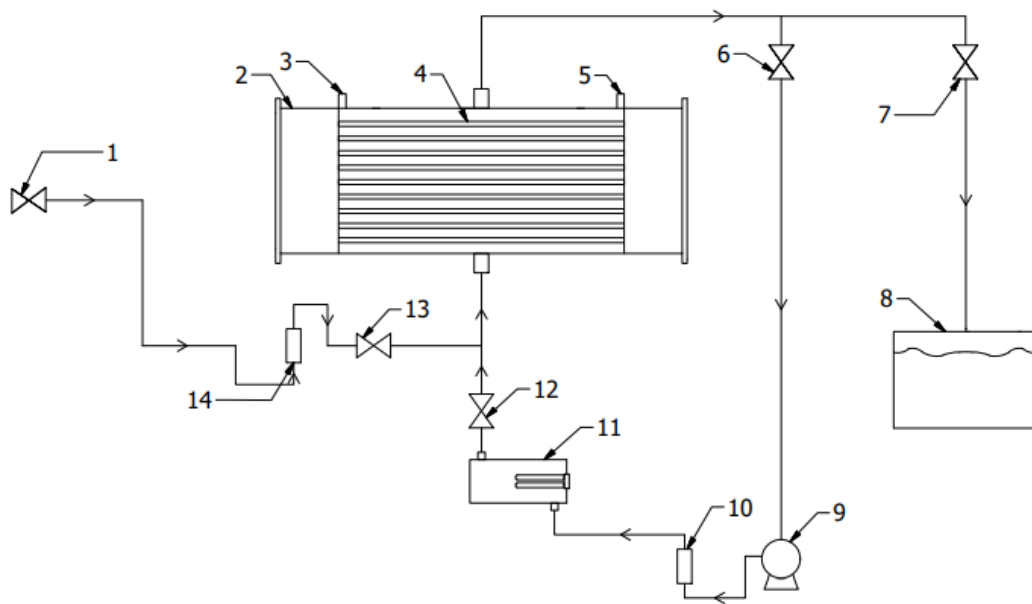
Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2 LPM. Pengambilan data pada penelitian ini dengan cara *discharging* kontinyu. Pengambilan data dilakukan pada suhu di dalam tangki TES 70 °C dan berakhir ketika suhu bak air mencapai 35 °C.



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.



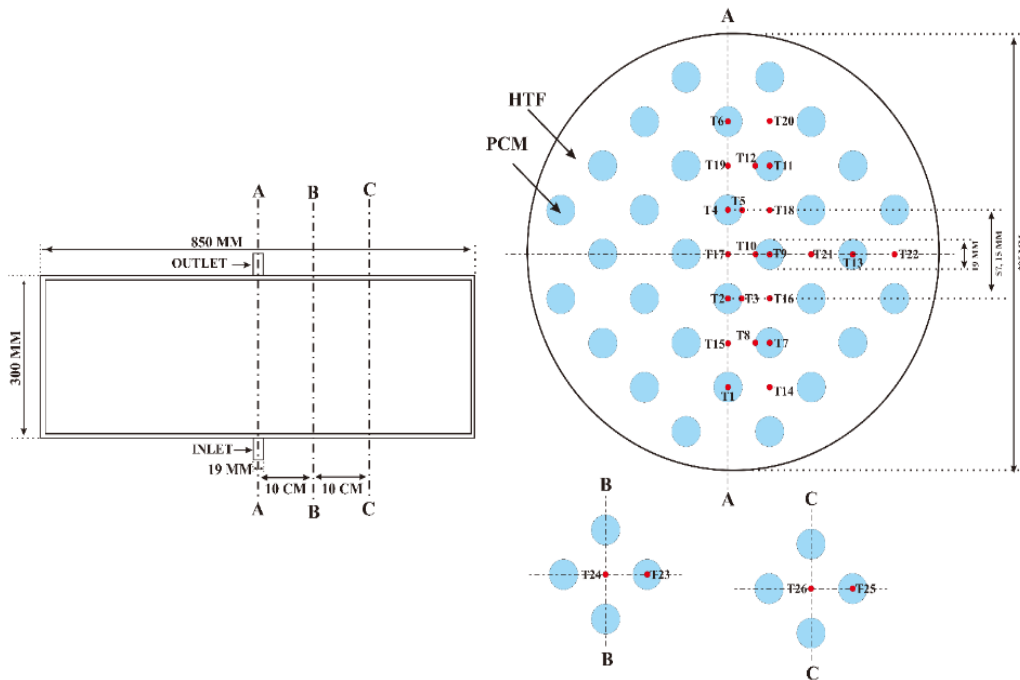
Gambar 4. Skema Proses *Discharging* Bertahap

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 20% selesai dengan mengebor pipa tembaga pada bagian yang sudah ditetapkan. Letak pemasangan termokopel mengikuti gambar desain penempatan termokopel yang ditunjukkan pada gambar 5.

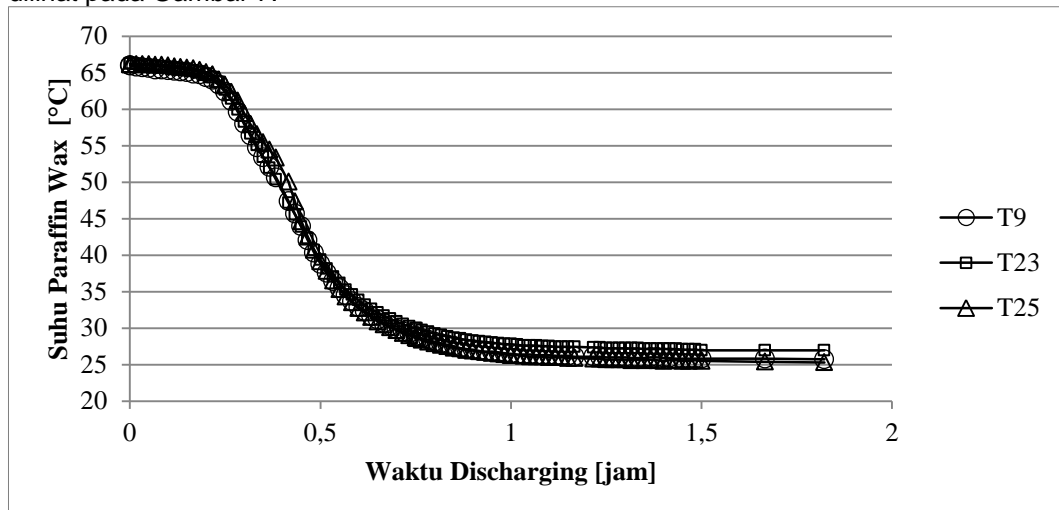


Gambar 5. Peletakan Termokopel

3. Hasil dan Pembahasan

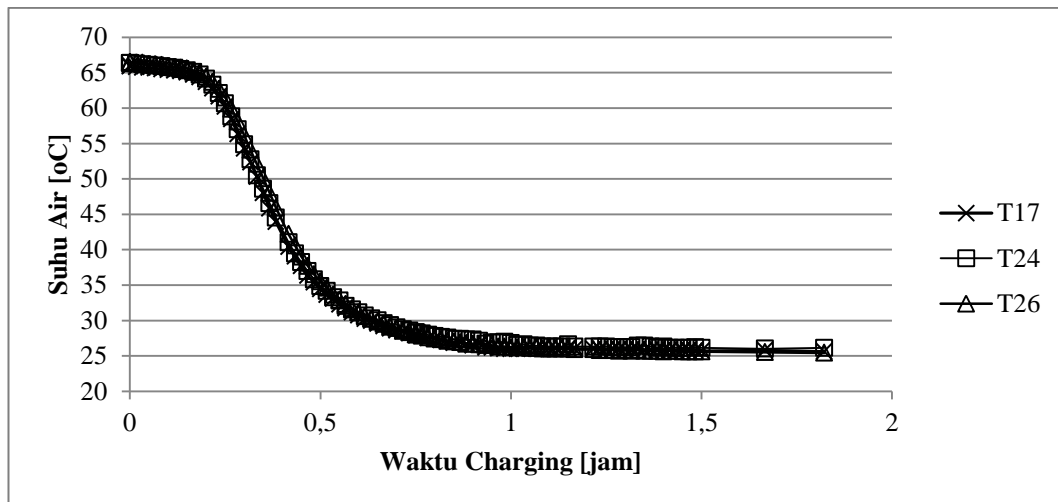
3.1 Evolusi Suhu Campuran PW + 20% Cu dalam Arah Aksial

Hasil pengujian pada variasi 1 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran paraffin wax dengan serbuk tembaga fraksi berat 20% 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 + 20% 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.

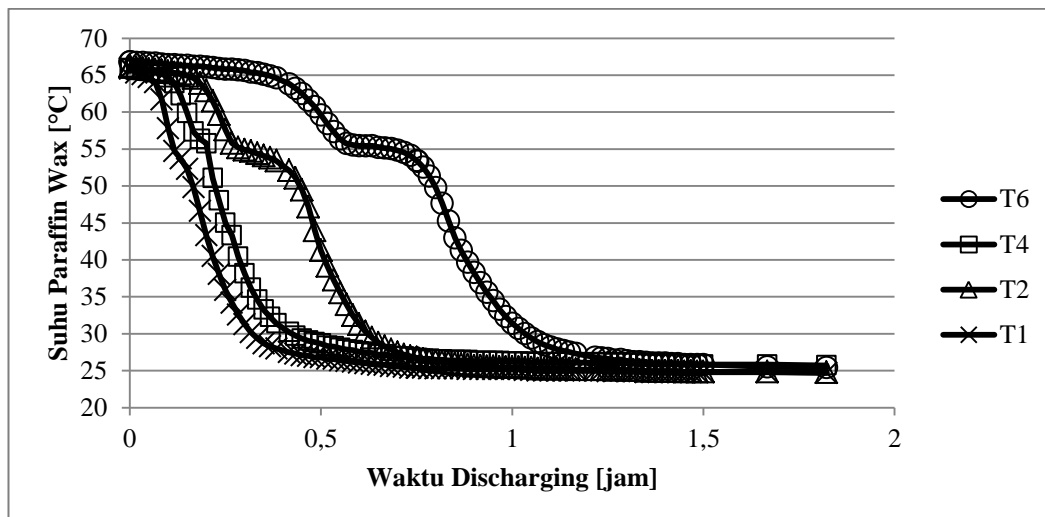


Gambar 7. Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial

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 + 20% Cu dalam Arah Vertikal

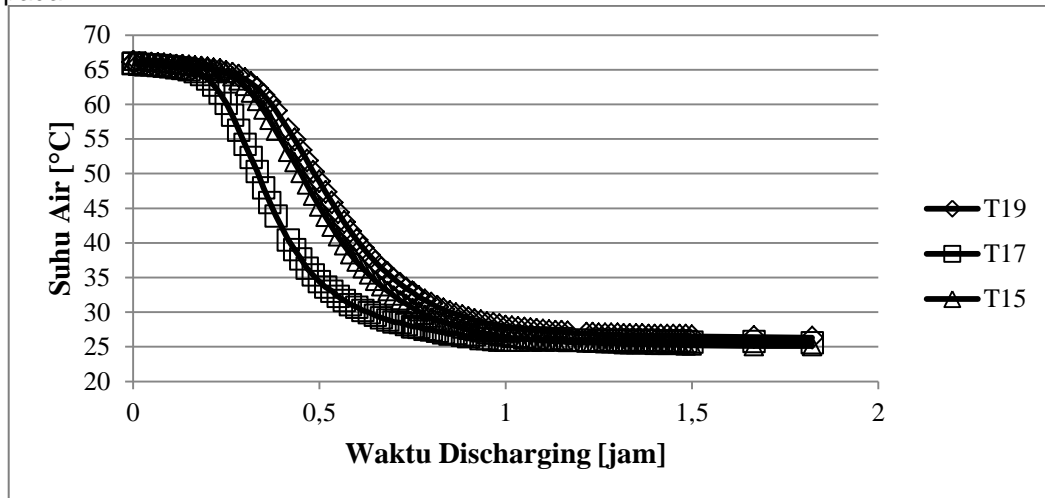
Hasil pengujian pada variasi 1 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran paraffin wax dengan serbuk tembaga fraksi berat 20% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dapat dilihat pada gambar 8. sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 9.



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

Dari grafik pada gambar 8 yang mengalami penurunan suhu paling cepat dari keempat termokopel pada arah vertikal adalah termokopel T1. Peristiwa ini dipengaruhi oleh letak pipa tembaga, karena letak pipa tembaga berada pada sisi paling dekat dengan input air kran yang masuk ke tangki TES. Dan T6 memiliki suhu yang relatif konstan dan paling lambat mengalami penurunan suhu karena letak pipa tembaga T6 berada paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T6 pada 0-0,6 jam

berkisar 11 °C, suhu T4 berkisar 38 °C, suhu T2 berkisar 35 °C, dan suhu T1 pada 0-0,6 jam berkisar 39 °C. Sehingga pelepasan kalor selama 0-0,6 jam paling cepat yaitu terjadi pada T1.

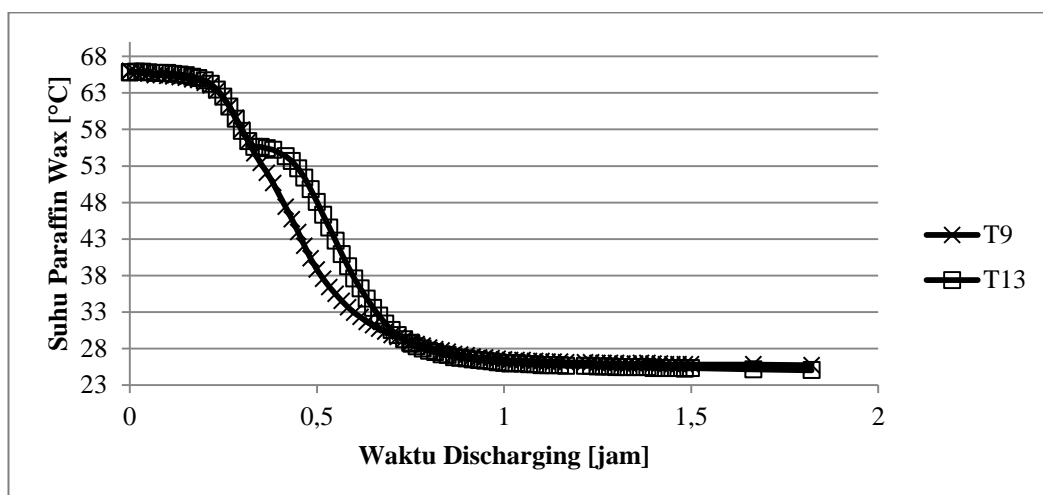


Gambar 9. Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Dari grafik pada gambar 9 setelah suhu mencapai 63°C dan 0,2 jam ketiga termokopel mengalami penurunan suhu yang cepat dan drastis hingga mencapai suhu 26°C pada 1,2 jam. Dari ketiga termokopel T17 mengalami penurunan suhu paling cepat karena letak T17 yang berada pada jalur input air masuk dari kran. Sedangkan T19 memiliki suhu yang relatif konstan dan paling lama mengalami penurunan suhu karena letak yang paling jauh dari input air masuk dari kran menuju tangki TES. Setelah 1,2 jam ketiga termokopel mengalami perubahan suhu yang relatif sama dan konstan karena saat itu air sudah tidak menerima panas dari PCM sehingga antar termokopel berselisih tidak lebih dari 2°C.

3.3 Evolusi Suhu Campuran PW + 20% Cu dalam Arah Horisontal

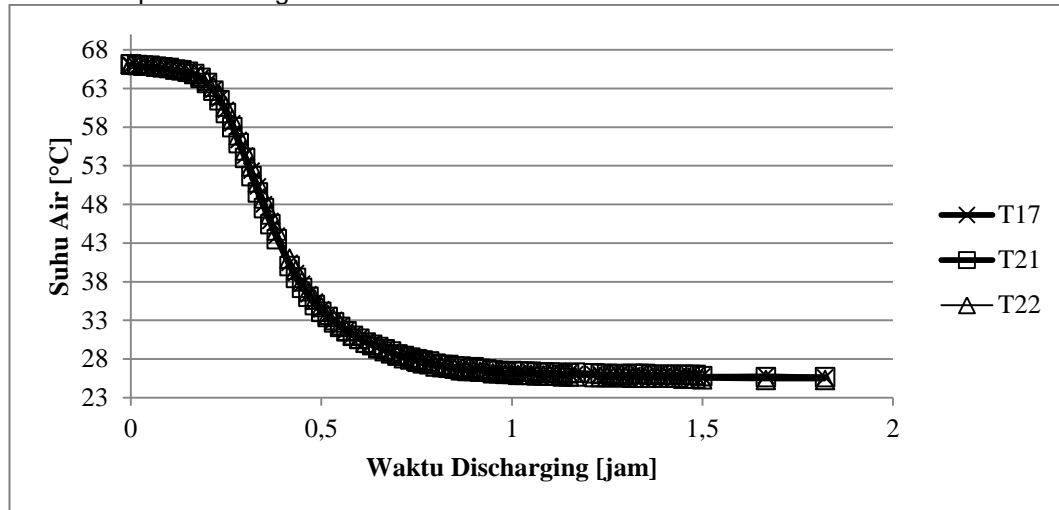
Hasil pengujian pada variasi 1 LPM arah horisontal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran paraffin wax dengan serbuk tembaga fraksi berat 20% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 10 dan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 11.



Gambar 10. Evolusi Suhu Campuran PW + 20% 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 Horizontal

Grafik horizontal air menunjukkan penurunan suhu pada T17 dan T22 tidak mengalami perbedaan, tetapi pada T21 mengalami penurunan suhu yang berbeda dan waktu yang berbeda. Perbedaan suhu dan waktu tersebut dilihat dari suhu 61°C hingga 38°C dan 0,25 – 0,43 jam. Hal ini disebabkan karena T21 terkena debit air kran terlebih dahulu dibandingkan T17 dan T22, sehingga penurunan suhu dan waktu HTF pada T21 lebih cepat. Setelah mencapai suhu 38°C ketiga termokopel mengalami penurunan suhu yang relatif sama dan stabil dikarenakan HTF sudah tersebar merata sehingga perbedaan suhu antar termokopel tidak lebih dari 1°C.

Debit air mempengaruhi perbedaan suhu pada termokopel, jika menggunakan debit air yang kecil maka perbedaan suhu tidak terlalu signifikan hanya mencapai 2°C dikarenakan dorongan debit air dari kran yang kecil tidak menyebabkan putaran air yang masuk kedalam tangki besar sehingga suhu yang terbaca dari termokopel relatif sama.

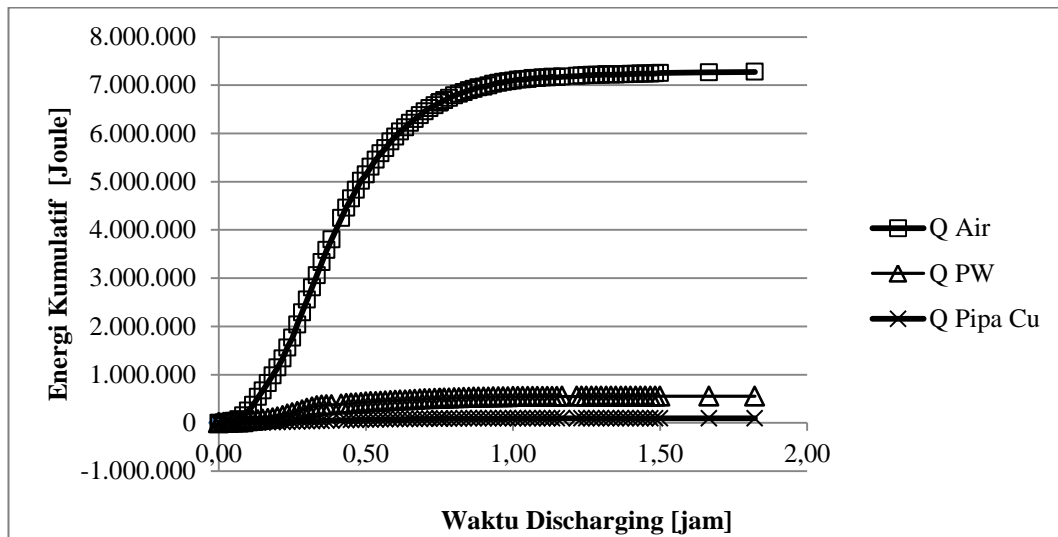
3.4 Grafik Energi Kumulatif

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

$$\begin{aligned}
 Q_{kum} &= m \times c_p \times \Delta T & (1) \\
 Q_{kum} &= 43,13 \times 4180 \times (65,94 - 25,58) \\
 Q_{kum} &= 7.275.700,69 \text{ J}
 \end{aligned}$$

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	65,94	25,58	40,36	7.275.700,69
Pipa Cu	390	5,91	65,98	25,17	40,81	94.000,25
PW+20%Cu	1678	9,89	66,23	25,38	40,85	550.913,12



Gambar 12. Grafik Energi Kumulatif

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 20 % 1678 J/kg.K. Grafik Q Paraffin Wax Cu 20% mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,93 jam sebanyak 534,152 kJ, setelah 0,93 jam sampai selesai laju kenaikannya sebesar 534,152 - 550,913 kJ dan kenaikannya relatif stabil. Grafik Q pipa Cu setelah 0,93 jam mengalami kenaikan sebesar 90,517 kJ dan dari 0,93 jam sampai selesai hanya sebesar 90,517-94,0 kJ . Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-0,93 jam yaitu sebesar 5.146 kJ, setelah 0,93 jam relatif mengalami kenaikan lebih stabil hingga berakhir pada 7.275,701 kJ.

3.5 Laju Pelepasan Kalor dan Laju Penurunan Suhu

3.5.1 Laju Pelepasan Kalor Air

Laju pelepasan kalor pada air dapat dicari dengan persamaan 2:

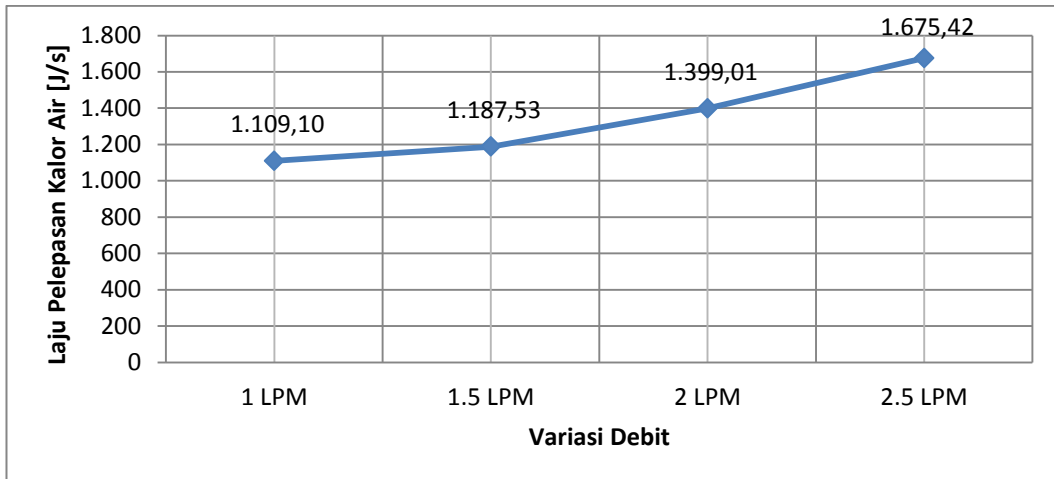
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = \frac{7.377.020,99}{16585}$$

$$\dot{Q} = 444,8 \text{ J/s}$$

Tabel 2 Laju Pelepasan Kalor Air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 20%	Q̇
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66,17	25,25	40,92	16.585	7.377.020,99	1.029.378,78	444,80
1.5	66,85	28,15	38,69	14.825	6.975.258,37	994.180,17	470,51
2	63,07	26,24	36,84	8.405	6.641.135,76	835.264,46	790,14
2.5	65,09	26,03	39,06	9.690	7.040.438,55	982.907,99	726,57



Gambar 13. Laju Pelepasan Kalor Air

Grafik pada gambar 13. diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor air paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 1.109,10 J/s karena memiliki waktu yang paling lama 1,8 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM yaitu 1.675,42 J/s karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2,5 LPM memiliki waktu yang tercepat karena debit air yang besar menyebabkan proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu lainnya. Pengambilan data pada variasi 2,5 LPM mencapai 1,3 jam dan variasi 2,5 LPM memiliki perubahan suhu paling rendah daripada ketiga variasi lainnya

3.5.2 Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax + Cu 20% berat

Laju pelepasan kalor pada paraffin wax Cu 20% dapat dicari dengan persamaan 2:

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

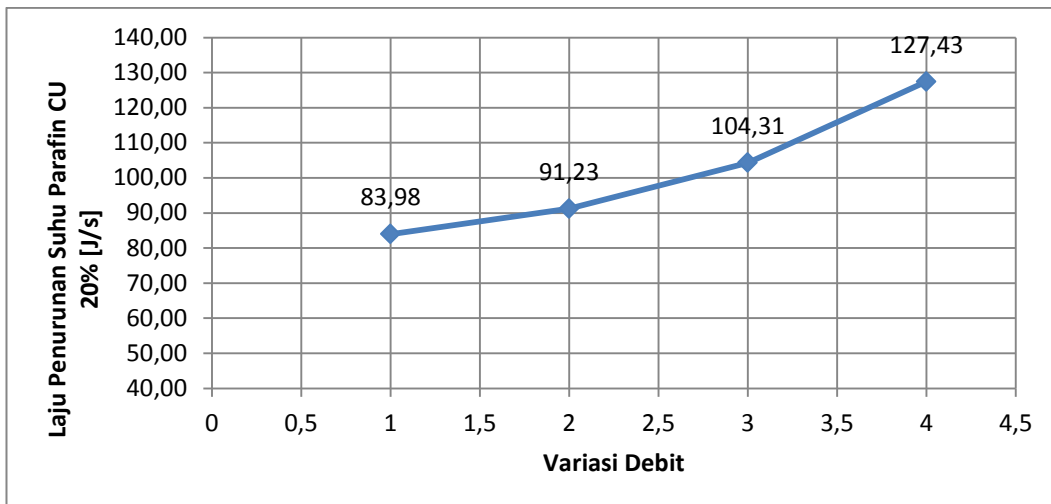
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{1.029.378,78}{16585}$$

$$\dot{Q} = 62,07 \text{ J/s}$$

Tabel 3. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax Cu 20%

V	T1 PCM	T2 PCM	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 20%	\dot{Q}
LPM	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66,14	25,05	41,09	16.585	7.377.020,99	1.029.378,78	62,07
1.5	66,14	27,95	38,20	14.825	6.975.258,37	994.180,17	67,06
2	62,50	26,07	36,43	8.405	6.641.135,76	835.264,46	99,38
2.5	65,44	25,92	39,52	9.690	7.040.438,55	982.907,99	101,44



Gambar 14. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax + Cu 20%

Grafik pada gambar 14. diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor pada *paraffin wax Cu 20%* paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 83,98 J/s. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM yaitu 127,43 J/s. Variasi 2,5 LPM memiliki laju pelepasan terbesar karena menggunakan debit paling besar sehingga memiliki perubahan suhu yang cepat dan mengalami pelepasan kalor 127,43 joule dalam setiap detik.

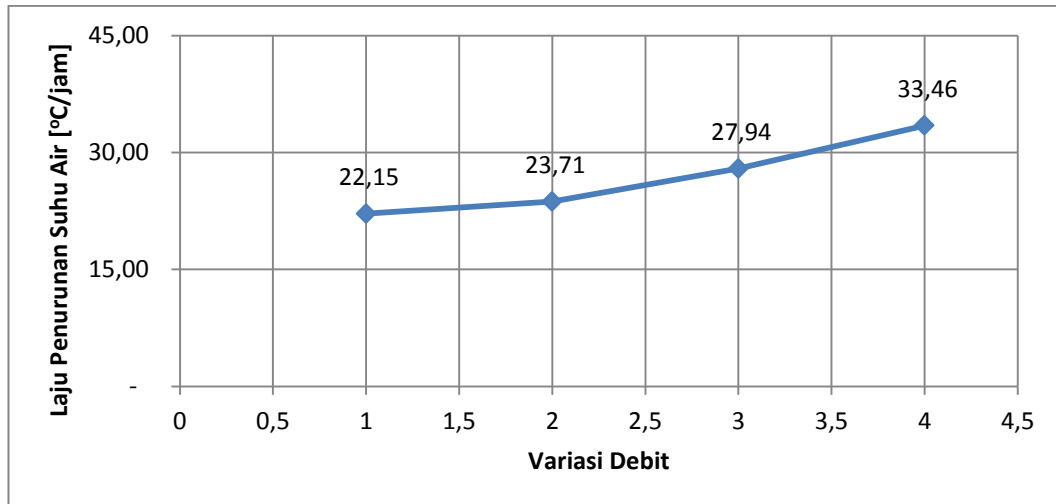
3.5.3 Laju Penurunan Suhu Air

Laju penurunan suhu pada air dapat dicari dengan persamaan 3.

$$\begin{aligned} \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} \quad (3) \\ &= \frac{(66,17 - 25,25) \times 3600}{16585} \\ &= 8,88 \text{ } ^\circ\text{C/jam} \end{aligned}$$

Tabel 4. Laju Penurunan Suhu Air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 20%	Q pipa Cu
LPM	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	(detik)	(J)	(J)	(J)
1	66.17	25.25	40.92	16585	7.377.020,99	1.029.378,78	96.338,79
1.5	66.85	28.15	38.69	14825	6.975.258,37	994.180,17	90.554,78
2	63.07	26.24	36.84	8405	6.641.135,76	835.264,46	85.688,62
2.5	65.09	26.03	39.06	9690	7.040.438,55	982.907,99	89.915,17



Gambar 15. Laju Penurunan Suhu Air

Grafik pada gambar 15. diatas diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu air paling rendah 22,15°C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 1,8 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 33,46°C/jam pada variasi 2,5 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian karena debit air yang besar membuat proses penurunan lebih cepat. Pengambilan data pada variasi 2,5 LPM mencapai 1,3 jam. Sehingga pada 2,5 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 33,46°C dalam setiap jam dan pada 1 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 22,15°C dalam setiap jam.

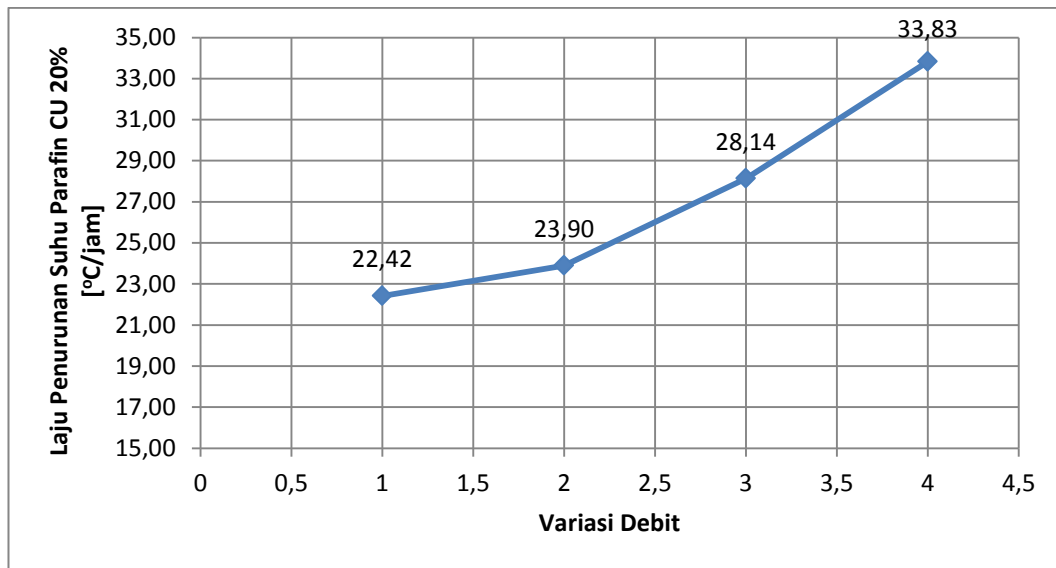
3.5.4 Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax + Cu 20% berat

Laju penurunan suhu pada *paraffin wax* Cu 20% dapat dicari dengan persamaan 4.

$$\begin{aligned}
 \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} \quad (4) \\
 &= \frac{(66,14 - 25,05) \times 3600}{16585} \\
 &= 8.92 \text{ } ^\circ\text{C/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax Cu 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	66,14	25,05	41,09	16.585	7.377.020,99	1.029.378,78	96.338,79
1.5	66,14	27,95	38,20	14.825	6.975.258,37	994.180,17	90.554,78
2	62,50	26,07	36,43	8.405	6.641.135,76	835.264,46	85.688,62
2.5	65,44	25,92	39,52	9.690	7.040.438,55	982.907,99	89.915,17



Gambar 16. Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax Cu 20%*

Grafik pada gambar 16. diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu *paraffin wax Cu 20%* paling rendah 22,42°C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 1,8 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 33,83°C/jam pada variasi 2,5 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2,5 LPM memiliki waktu yang tercepat karena debit air yang besar membuat proses penurunan lebih cepat. Pengambilan data pada variasi 2,5 LPM selama 1,3 jam. Sehingga pada 2,5 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 33,83°C dalam setiap jam dan pada 1 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 22,42°C dalam setiap jam.

4. Kesimpulan

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

1. Laju pelepasan kalor terendah terjadi pada debit air 1 LPM, besar laju pelepasan kalor pada air sebesar 7.275,7 KJ/s dan pada PCM sebesar 550,913 KJ/s. Sedangkan laju pelepasan kalor terbesar terjadi pada debit air 2,5 LPM, besar pelepasan kalor air sebesar 7.645,078 KJ/s dan pada PCM sebesar 581,667 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.
2. Laju penurunan suhu terendah terjadi pada debit 1 LPM, besar laju penurunan suhu air sebesar 22,15 °C/jam dan pada PCM sebesar 22,42 °C/jam. Sedangkan laju penurunan suhu air tertinggi terjadi pada debit air 2,5 LPM. Laju penurunan suhu air sebesar 33,46 °C/jam dan pada PCM sebesar 33,83 °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.

REFERENCES

Journal:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.