

PENGUKURAN LAJU PENYERAPAN KALOR PADA TANGKI SOLAR WATER HEATER DENGAN KAPSUL BERISI PARAFFIN WAX DENGAN VARIASI DEBIT 600, 700, 800, DAN 900 MLPM

Hafizhar Farras Rizqi^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,
^ahanadityafarhan@gmail.com, ^btitohas@yahoo.com, ^cnurcahyadi@gmail.com

Abstrak

Matahari merupakan sumber energi panas yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi terbarukan. Salah satu bentuk pemanfaatan panas matahari adalah dengan alat Solar Water Heater (SWH). SWH konvensional menggunakan air sebagai media penyimpanan kalor. Penggunaan air memiliki kekurangan diantaranya densitas energinya rendah sehingga memerlukan volume yang besar yang menyebabkan kurang efektif. Untuk mengatasinya maka digunakan paraffin wax sebagai *phase change material* (PCM), dimana *paraffin wax* memiliki densitas energi yang tinggi. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui laju penyerapan kalor dan kenaikan suhu pada tangki SWH selama proses *charging* dengan variasi debit. Penelitian ini menggunakan air sebagai *Heat Transfer Fluid* (HTF) serta PCM yang berupa *paraffin wax* sebagai media penyimpan panas. Penelitian ini menggunakan heater untuk mensimulasikan panas matahari. Proses pengujian berawal dari heater yang tersambung dengan voltage regulator akan memanaskan air yang didorong oleh pompa untuk masuk ke dalam tangki. Termokopel yang terpasang di dalam tangki akan terekam suhunya setiap 5 detik sekali pada data logger. Kemudian proses *charging* akan dilakukan dengan 4 variasi debit yaitu 600, 700, 800, dan 900 mLPM. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan suhu selama proses *charging* pada setiap variasi debit. Nilai laju penyerapan yang didapat oleh *paraffin wax* saat kondisi laten menerima energi yang lebih banyak dibandingkan laju penyerapan sensibel. Nilai penyerapan kalor laten terbesar didapat pada variasi 900 mLPM dengan nilai 110,52 Joule/s, sedangkan pada kondisi sensibel terbesar didapat nilai 24,49 Joule/s. Nilai laju penyerapan kalor air terbesar didapat pada variasi 900 mLPM dengan nilai 664,86 Joule/s.

Kata Kunci: SWH, PCM, *charging*

Abstract

The sun is a source of heat energy that can be utilized as a source of renewable energy. One form of solar thermal utilization is with Solar Water Heater (SWH). Conventional SWH uses water as a heat storage medium. The use of water has disadvantages including low energy density so it requires large volumes that cause less effective. To overcome this, paraffin wax is used as a phase change material (PCM), where paraffin wax has a high energy density. The purpose of this study was to determine the rate of heat absorption and temperature rise in the SWH tank during the charging process with a variation of discharge. This study uses water as a Heat Transfer Fluid (HTF) and PCM in the form of paraffin wax as a heat storage medium. This study uses a heater to simulate solar heat. The testing process starts with a heater connected to the voltage regulator which will heat the water driven by the pump to enter the tank. Thermocouples installed in the tank will be recorded temperature every 5 seconds once in the data logger. Then the charging process will be done with 4 variations of discharge, namely 600, 700, 800, and 900 mLPM. The results showed an increase in temperature during the charging process at each discharge variation. The absorption rate value obtained by paraffin wax during latent conditions receives more energy than the sensible absorption rate. The highest latent heat absorption value is obtained at a variation of 900 mLPM with a value of 110.52 Joules / s, while in the largest sensible conditions a value of 24.49 Joules / s is obtained. The highest value of water absorption rate is obtained at a variation of 900 mLPM with a value of 664.86 Joules / s.

Keywords: SWH, PCM, *charging*

1. Pendahuluan

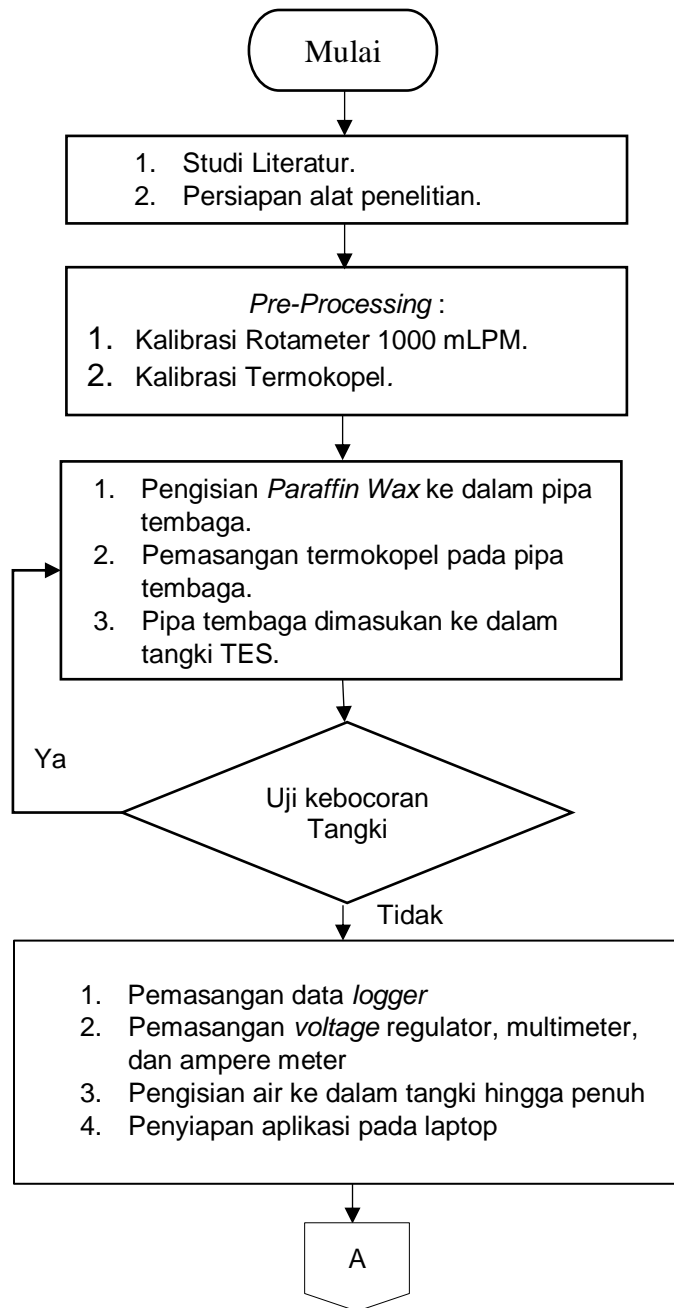
Air merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat dibutuhkan untuk keberlangsungan kehidupan makhluk hidup khususnya manusia. Kegunaan air bukan hanya untuk menunjang kebutuhan pokok manusia, namun juga dimanfaatkan dalam aspek lainnya yaitu untuk pertanian, perkebunan, dan industri. Salah satu kebutuhan pokok manusia yang menggunakan air adalah mandi, dimana mandi dapat dilakukan menggunakan air dingin maupun hangat. Terdapat teknologi alternatif yang ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan air hangat dengan energi surya yaitu Solar Water Heater (SWH) [1].

Pemilihan pemanas air menggunakan Solar Water Heater (SWH) sangat tepat untuk diterapkan, mengingat energi yang dilepaskan sinar matahari dan diterima oleh permukaan bumi mencapai 3×10^{24} Joule/tahun. Energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di dunia. Saat siang hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 W/m^2 [2]. Berdasarkan radiasi sebesar 1000 W/m^2 yang dikeluarkan matahari maka dapat disimulasikan menggunakan heater dengan kapasitas daya 1500 Watt untuk menggantikan panas yang dihasilkan matahari. Untuk meningkatkan efisiensi SWH diperlukan adanya Thermal Energy Storage (TES) yang berguna untuk menyimpan energi thermal.

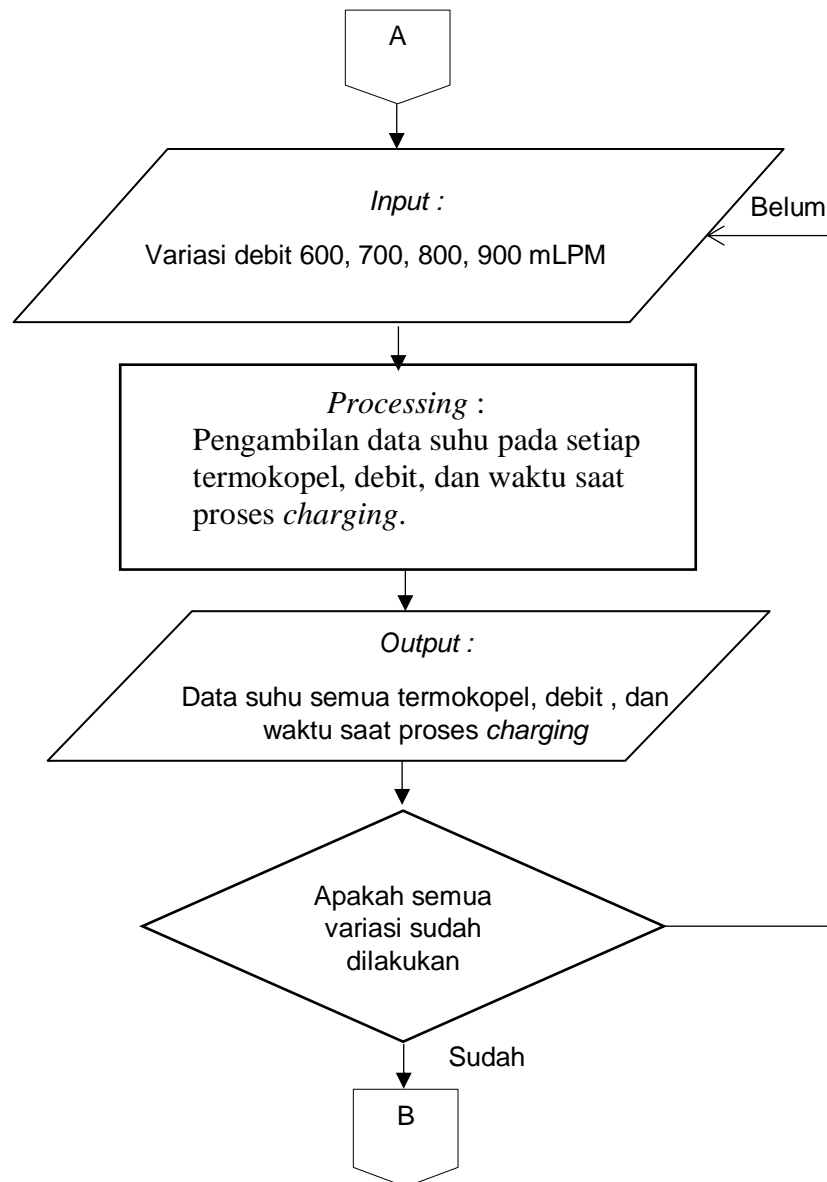
TES memiliki 3 macam metode penyimpanan diantaranya sensible heat storage (SHS), latent heat storage (LHS), dan thermochemical heat storage. LHS memiliki keunggulan dibandingkan metode yang lain karena LHS dapat menghasilkan sistem penyimpanan termal dari energi matahari yang compact dan efisien [3]. Metode LHS membutuhkan media untuk penyimpanan yaitu Phase Change Material (PCM). Adanya kenaikan suhu pada PCM akan merubah fase PCM dari padat menjadi cair. Kalor dari material akan diserap oleh PCM sehingga temperatur akan naik secara konstan sampai suhu perubahan fase tercapai [4].

PCM yang digunakan pada penelitian ini menggunakan paraffin wax. Properties material yang dimiliki paraffin wax antara lain densitas energi tinggi ($\sim 200 \text{ kJ/kg}$), namun nilai konduktivitas termalnya rendah ($\sim 0,2 \text{ W/m}\cdot\text{oC}$), memiliki melting point 8 hingga 106 oC , sifat termalnya stabil dibawah 500 oC [3], dan mampu bertahan selama 1500 siklus termal [5]. Berdasarkan sifat material tersebut maka penggunaan paraffin wax pada SWH perlu dilakukan penelitian guna mengetahui laju penyerapan kalor yang dihasilkan pada proses charging.

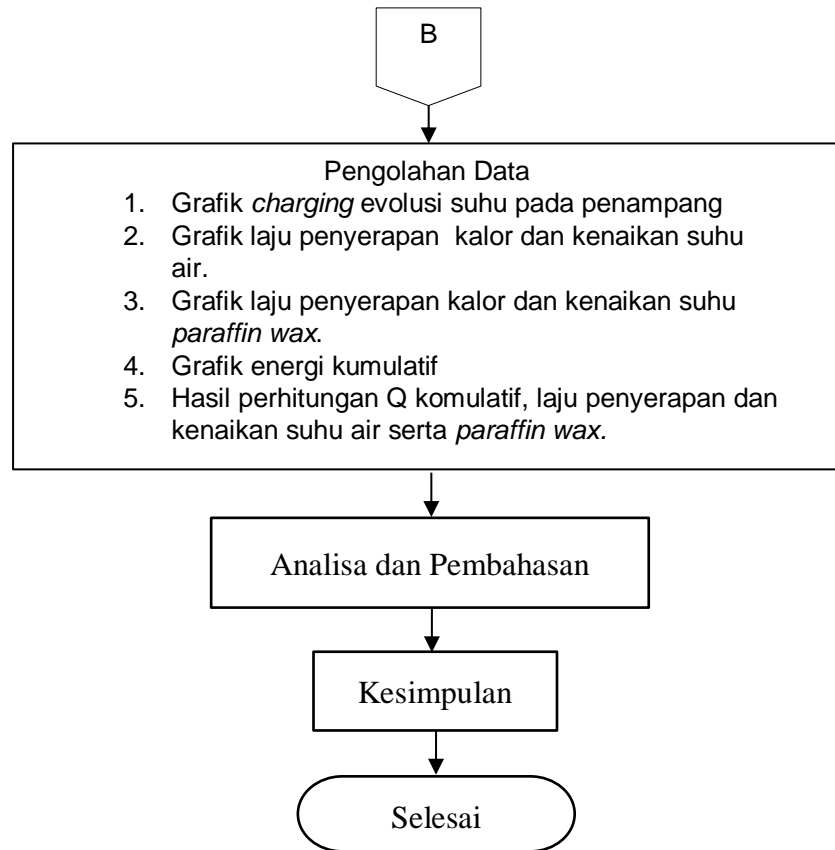
2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



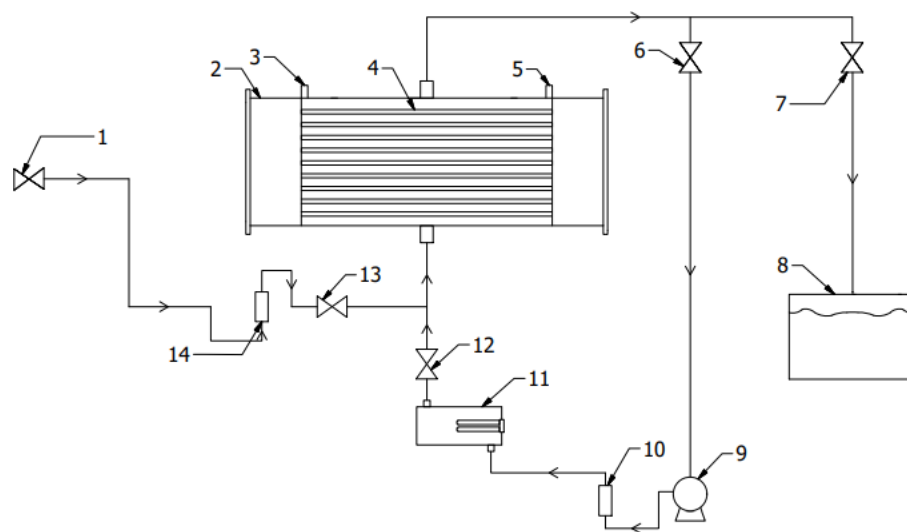
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

2.1 Skema Penelitian

Topik dalam penelitian ini adalah menyelidiki kombinasi dua kategori penyimpanan panas yaitu paraffin wax (LHS) diintegrasikan dengan air biasa (SHS) yang berperan sebagai HTF. Pengujian ini menggunakan Solar Water Heater sistem aktif yang menggunakan pompa dan alat pengontrol lainnya. Pengujian diawali dengan pengisian air dari kran ke dalam tangki sampai full, setelah tangki full kemudian katup kran air ditutup. Atur variasi debit pada rotameter 1000 mLPM dan heater pada voltage regulator. Proses pengambilan data dimulai dengan menekan start pada aplikasi applent data logger pada laptop



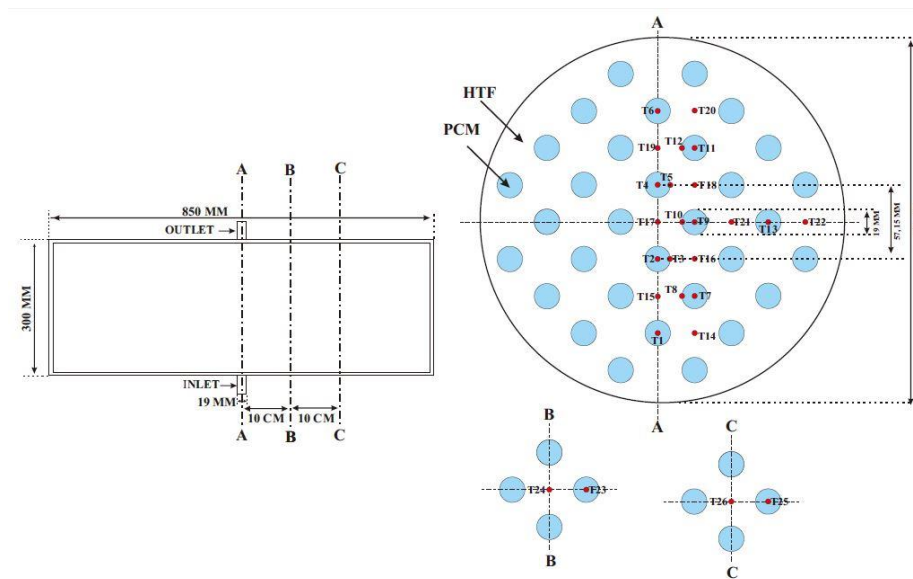
Gambar 4. Skema Proses Discharging Bertahap

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

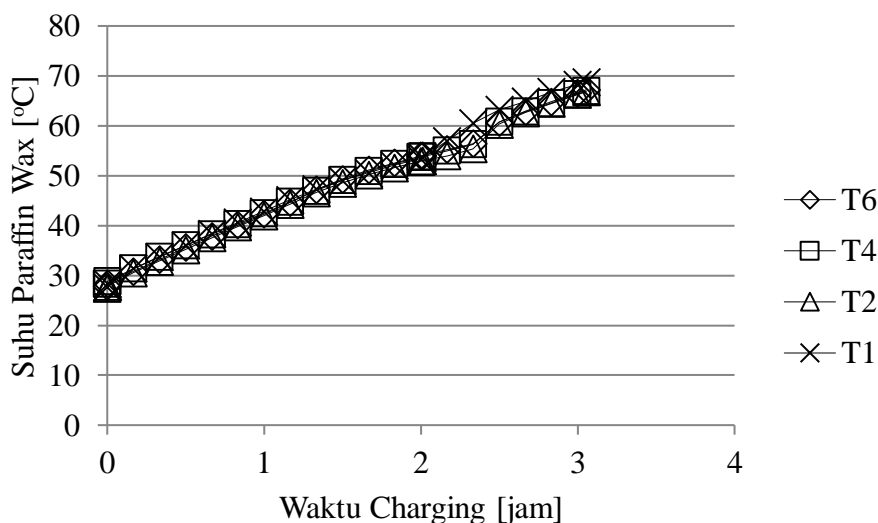


Gambar 5. Peletakan Termokopel

3. Hasil dan Pembahasan

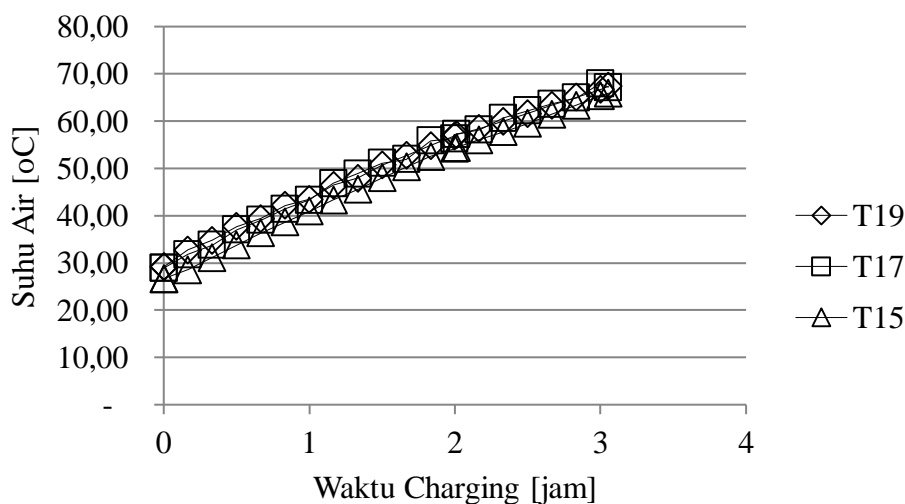
3.1 Evolusi Suhu Paraffin Wax dan Air Arah Vertikal

Hasil pengujian pada variasi 600 mLPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu paraffin wax dan evolusi suhu air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 5 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Evolusi Suhu *Paraffin Wax* Arah Vertikal

Berdasarkan grafik menunjukkan bahwa suhu awal pada semua termokopel tidak terdapat perbedaan drastis. Setelah penyerapan suhu selama 2 jam memasuki 55 °C pada T1 mengalami kenaikan suhu yang drastis dibandingkan 3 termokopel lainnya. Kenaikan suhu T1 dipengaruhi oleh letak terkompel yang berada paling dekat dengan input tangki yang berasal dari heater. Suhu T2, T4, dan T6 baru mengalami kenaikan suhu setelah 2,3 jam.

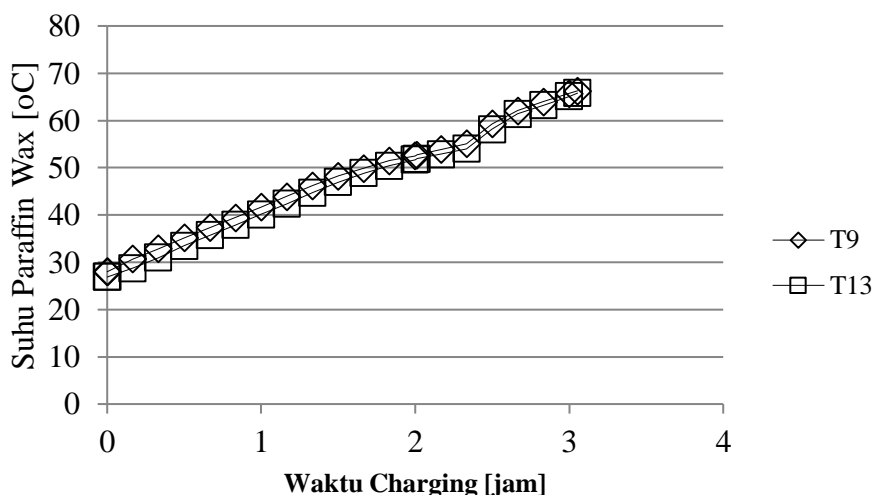


Gambar 7. Evolusi Suhu Air Arah Vertikal

Kenaikan suhu pada masing-masing termokopel terbilang konstan karena dari awal sampai akhir pengujian tidak terdapat lonjakan suhu yang drastis. Pada termokopel T17 dan T19 memiliki suhu yang tidak jauh berbeda, namun pada suhu T17 memiliki nilai suhu yang lebih tinggi dibandingkan T19. T17 memiliki suhu yang lebih tinggi disebabkan karena letak termokopel yang lebih dekat dengan input tangki

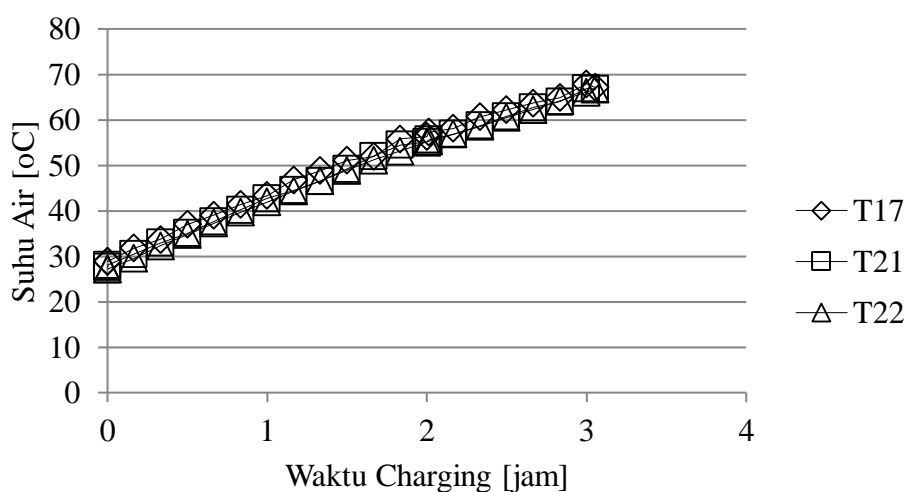
3.2 Evolusi Suhu *Paraffin Wax* dan Air Arah Horisontal

Hasil pengujian pada variasi 600 mLPM arah horisontal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* dan evolusi suhu air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 7 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Evolusi Suhu *Paraffin Wax* Arah Horisontal

Berdasarkan Grafik menunjukkan bahwa suhu pada T9 lebih besar daripada suhu T13. Hal tersebut dapat diamati berdasarkan letak termokopel dimana T9 lebih dekat dengan input tangki TES, sehingga T9 lebih dahulu terkena air *heater* daripada T13 yang lebih jauh dari input tangki. Kenaikan suhu T9 dan T13 dari suhu awal dan waktu 0-2,1 jam tidak mengalami kenaikan suhu yang drastis. Sampai pada waktu 2,3 jam dan suhu memasuki suhu 55°C mengalami lonjakan suhu dimana pada suhu tersebut terjadi perubahan fasa paraffin dari padat menjadi cair.

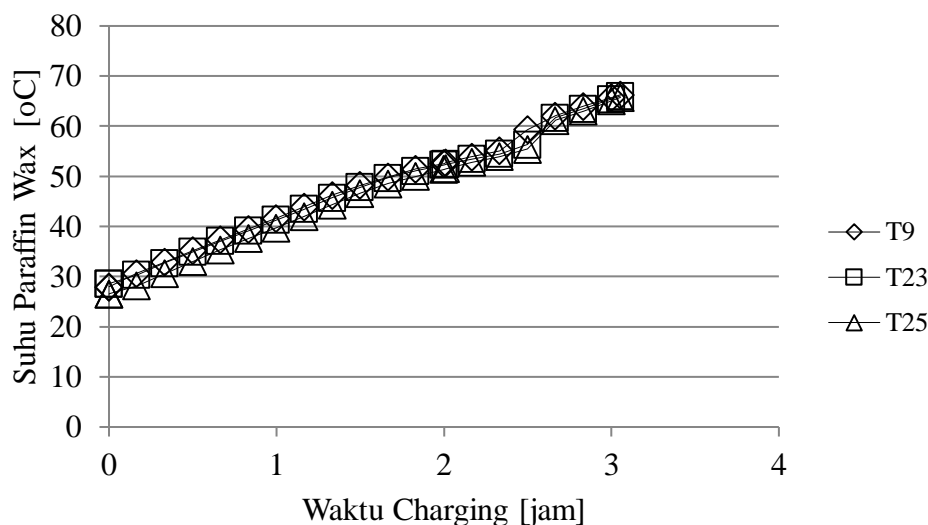


Gambar 9. Evolusi Suhu Air dalam Arah Horisontal

Terdapat perbedaan kenaikan suhu air dari ketiga termokopel. Dari awal pengujian sampai akhir T17 merupakan suhu yang tertinggi dari ketiga termokopel tersebut, karena letak T17 yang lebih dekat dengan posisi inlet air yang berasal dari *heater*.

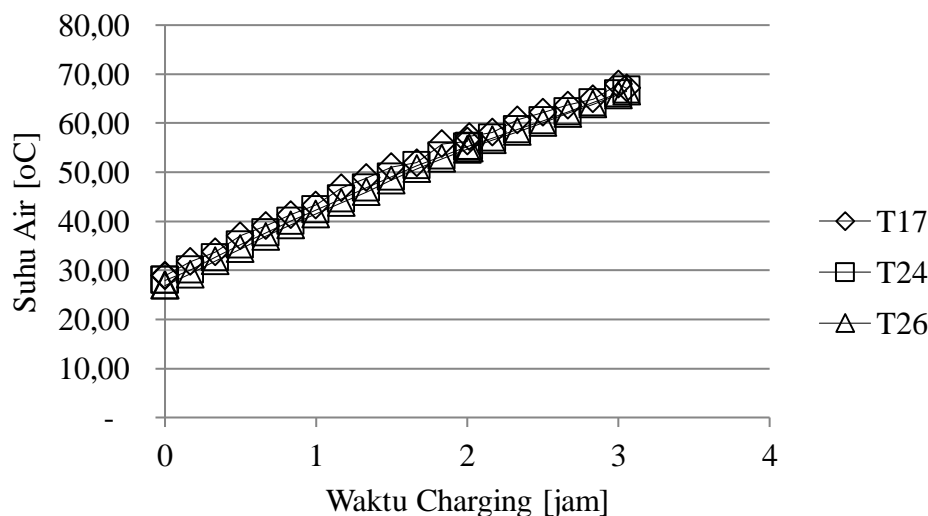
3.3 Evolusi Suhu Paraffin Wax dan Air Arah Aksial

Hasil pengujian pada variasi 600 mLPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu paraffin wax dan evolusi suhu air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 9 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Evolusi Suhu *Paraffin Wax* Arah Aksial

Kenaikan suhu T9 mengalami lonjakan temperatur pada waktu 2,3-2,5 jam dan berada pada suhu 55-60°C dikarenakan terjadinya perubahan fasa dari padat menjadi cair. Sedangkan pada T23 dan T25 mengalami lonjakan temperatur pada waktu 2,5 jam. Pada T9 mengalami kenaikan suhu lebih cepat, hal tersebut terjadi karena letak termokopel T9 lebih dekat dengan input tangki yang berasal dari *heater*, sehingga perubahan fasa T9 lebih cepat.

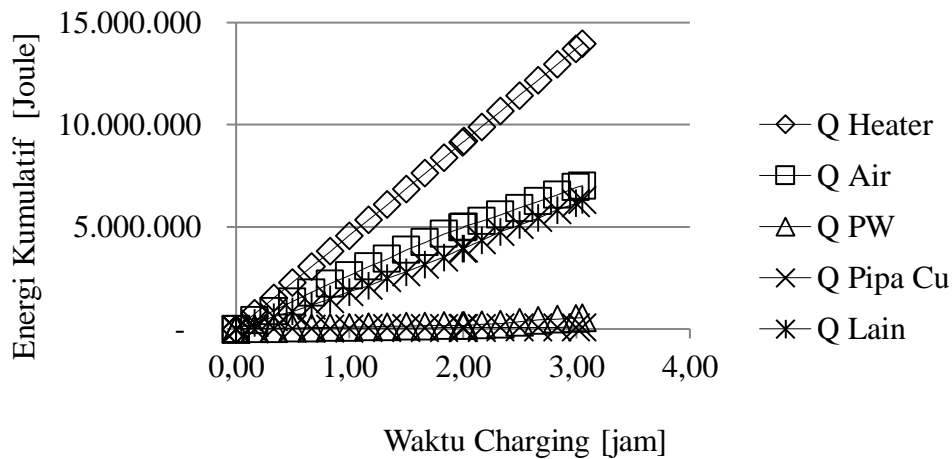


Gambar 11. Evolusi Suhu Air Arah Aksial

Suhu air pada T17 mengalami kenaikan yang fluktuasi dan merupakan termokopel yang mengalami kenaikan suhu paling besar dari ketiga termokopel. Hal itu terjadi karena letak T17 yang berada di tengah sedangkan T24 berada di penampang B dan T26 berada di penampang C sehingga T17 yang berada di tengah lebih dahulu terkena air inlet tangki. T24 dan T26 memiliki temperatur yang relatif sama karena masing-masing dari termokopel tersebut terletak di samping T17.

3.4 Grafik Energi Kumulatif

Energi kumulatif adalah energi yang diserap saat proses charging dari awal penelitian hingga selesai.



Gambar 12. Grafik Energi Kumulatif

Grafik energi kumulatif menunjukkan bahwa Q heater merupakan energi kalor yang digunakan untuk mengirim kalor ke Q air, Q PW, Q Pipa Cu, dan Q lain. Pada grafik Q pipa Cu lebih rendah dari air dan paraffin disebabkan karena 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 yang signifikan saat waktu 2,3-3 jam, laju kenaikan sebesar 80-100 Joule. Grafik Q air mengalami kenaikan yang relatif stabil. Grafik Q lain yang merupakan kalor yang terbuang ke tangki dan lingkungan juga mengalami kenaikan yang relatif stabil.

3.5 Laju Penyerapan Kalor dan Laju Kenaikan Suhu

3.5.1. Laju Penyerapan Kalor *Paraffin Wax Sensibel dan laten*

Hasil laju penyerapan sensibel didapat menggunakan rumus persamaan 1:

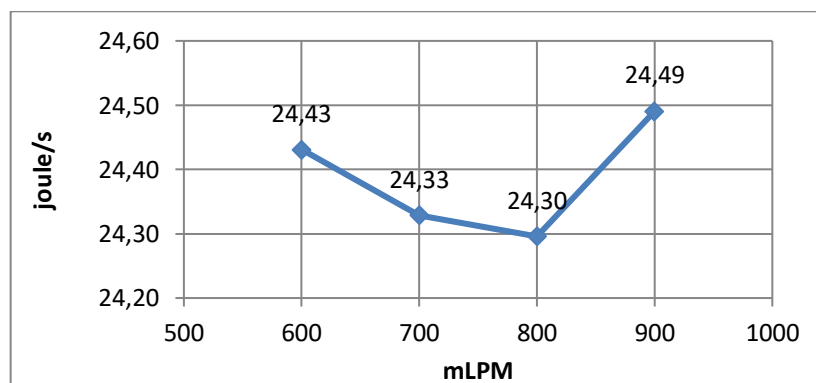
$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{Q_{\text{kumulatif}} (J)}{t_{\text{total}} (s)} \quad (1)$$

$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{176878,57}{7240}$$

$$\text{Laju Penyerapan} = 24,43 \text{ J/s}$$

Tabel 1. Laju penyerapan kalor *paraffin wax sensibel*

No Data	Q kumulatif	Waktu	Laju Penyerapan
	J	s	J/s
1448	176878,57	7240	24,43



Gambar 13. Laju penyerapan Kalor *paraffin wax sensibel*

Grafik menunjukkan laju penyerapan kalor selama proses *charging*. Kata sensibel merupakan keadaan *paraffin wax* saat belum mencapai titik leleh atau masih dalam keadaan padat. Berdasarkan grafik, laju penyerapan pada setiap variasi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Nilai laju penyerapan tertinggi didapat pada variasi debit 900 mLPM karena nilai Δt yang rendah dibandingkan waktu lainnya. Sedangkan nilai laju penyerapan terendah terjadi pada variasi 800 mLPM. Hal tersebut terjadi karena nilai ΔT kecil dibandingkan variasi lainnya, nilai ΔT rendah diakibatkan suhu lingkungan yang rendah.

Hasil laju penyerapan laten didapat menggunakan rumus persamaan 2.

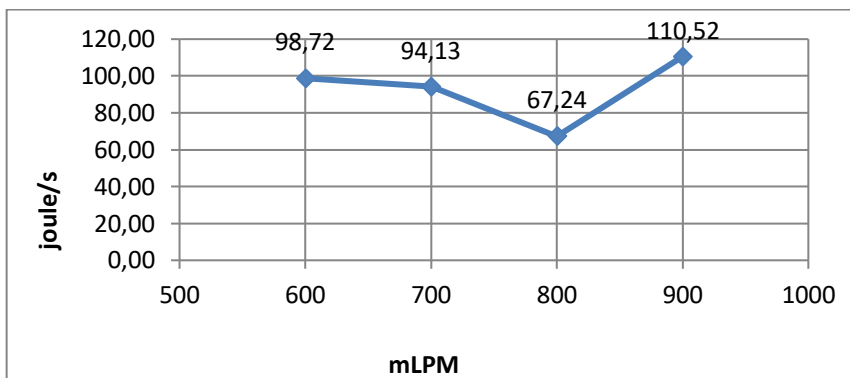
$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{\Delta Q_{\text{kumulatif}} (J)}{\Delta t (s)} \quad (2)$$

$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{(547599,07 - 177408,26)}{(10995 - 7245)}$$

$$\text{Laju Penyerapan} = 98,72 \text{ J/s}$$

Tabel 2. Laju penyerapan kalor *paraffin wax* laten

No Data	Q kumulatif	Waktu	Laju Penyerapan
	J	s	J/s
1449	177408,26	7245	98,72
2199	547599,07	10995	



Gambar 13. Laju Penyerapan Kalor *paraffin wax* laten

Grafik laju penyerapan laten menunjukkan trend yang tidak jauh berbeda dengan grafik laju penyerapan sensibel. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju penyerapan laten dipengaruhi oleh laju penyerapan kalor *paraffin wax* pada saat kondisi sensibel.

3.5.2. Laju Kenaikan *Paraffin Wax* Sensibel dan Laten

Hasil laju kenaikan sensibel didapat menggunakan rumus persamaan 3.

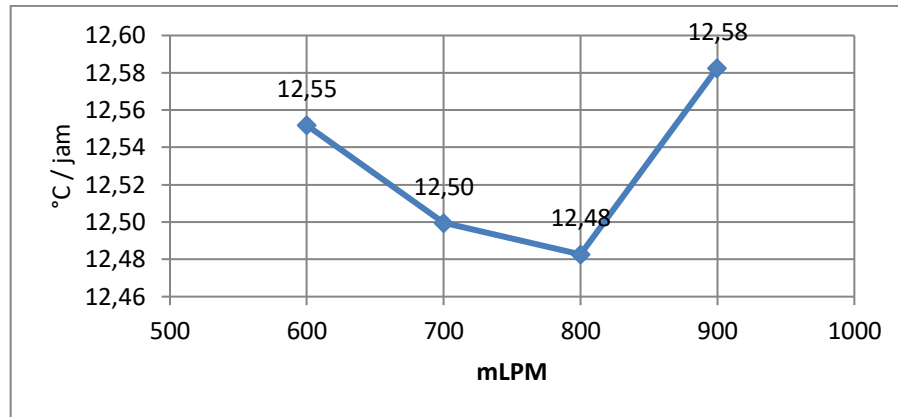
$$\text{Laju kenaikan} = \frac{\Delta \text{temperatur} (J)}{\Delta t (s)} \quad (3)$$

$$\text{Laju kenaikan} = \frac{(52,84 - 0)}{(2,011 - 0)}$$

$$\text{Laju kenaikan} = 12,55 \text{ }^\circ\text{C/jam}$$

Tabel 3. Laju kenaikan suhu *paraffin wax* sensibel

No Data	Temperatur	Waktu	Laju Kenaikan
	$^\circ\text{C}$	jam	$^\circ\text{C}/\text{jam}$
0	27,75	0	12,55
1448	52,84	2,011	



Gambar 14. Laju kenaikan suhu *paraffin wax* sensitibel

Hasil grafik laju kenaikan hampir sama dengan grafik laju penyerapan *paraffin wax* sensitibel. Hal tersebut terjadi karena kedua grafik tersebut saling berkaitan, dimana grafik didapat dengan cara mengurangi suhu pada saat puncak sensitibel dengan suhu awal. Maka jika laju penyerapan memiliki nilai yang kecil nilai laju kenaikan juga akan kecil.

Hasil laju kenaikan laten didapat menggunakan rumus persamaan 4.

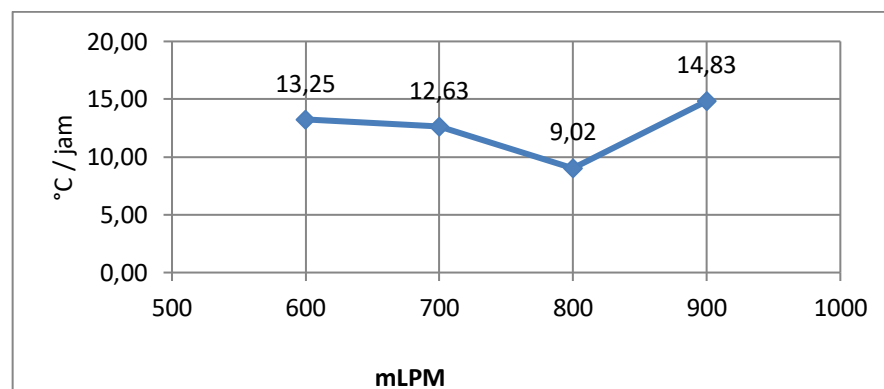
$$Laju\ kenaikan = \frac{\Delta temperatur\ (J)}{\Delta t\ (s)} \quad (4.9)$$

$$Laju\ kenaikan = \frac{(66,66 - 52,86)}{(3,054 - 2,013)}$$

$$Laju\ kenaikan = 13,26\ ^\circ C/jam$$

Tabel 4. Laju kenaikan suhu *paraffin wax* laten

No Data	Temperatur	Waktu	Laju Kenaikan
	°C	jam	°C/ jam
1449	52,86	2,013	13,26
2199	66,66	3,054	



Gambar 15. Laju kenaikan suhu *paraffin wax* laten

Trendline dari grafik hampir sama dengan grafik laju penyerapan *paraffin wax* laten. Dimana grafik didapat dengan cara mengurangi suhu akhir yang dalam keadaan laten dengan suhu awal mulai menjadi kalor laten. Sehingga jika laju penyerapan kecil laju maka laju kenaikan juga kecil. Sehingga didapatkan hasil yang sama.

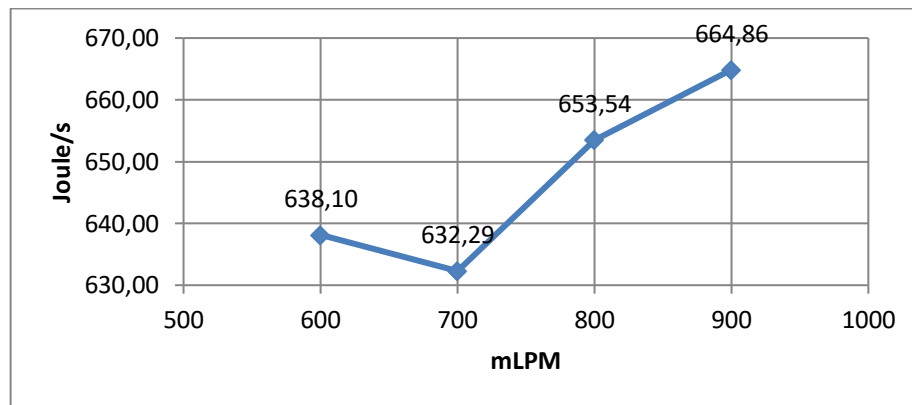
3.5.3. Laju Penyerapan Kalor dan Kenaikan Suhu Air

Hasil laju penyerapan kalor air dapat menggunakan rumus persamaan 5.

$$\begin{aligned} \text{Laju Penyerapan} &= \frac{Q_{\text{kumulatif}} (J)}{t_{\text{total}} (s)} \quad (5) \\ \text{Laju Penyerapan} &= \frac{7015955,95}{10995} \\ \text{Laju Penyerapan} &= 638,10 \text{ J/s} \end{aligned}$$

Tabel 5. Laju penyerapan kalor air

No Data	Q kumulatif J	Waktu s	Laju Penyerapan J/s
2199	7015955,95	10995	638,10



Gambar 16. Laju Penyerapan kalor Air

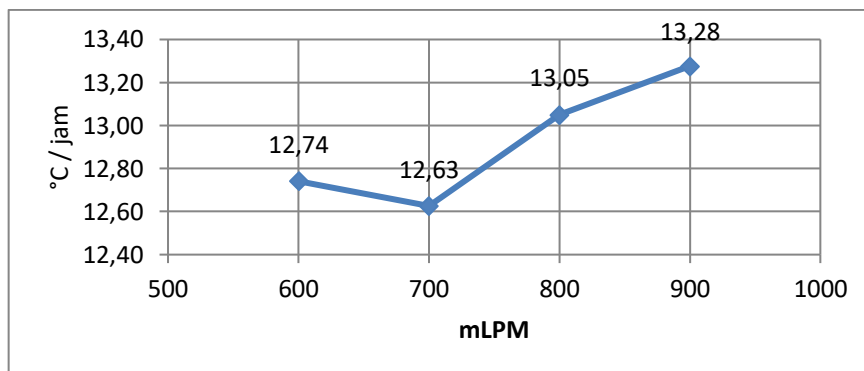
Grafik menunjukkan bahwa laju penyerapan kalor air mendapatkan nilai berkisar 632,29 J/s – 664,86 J/s. Nilai tersebut jika dibandingkan dengan laju penyerapan kalor *paraffin wax* memiliki nilai yang jauh berbeda. Hal tersebut dikarenakan prosentase dari air pada tangki jauh lebih besar dibanding kan prosentase *paraffin wax*. Pada variasi 700 mLPM memiliki nilai yang terendah karena Δt pada variasi 700 mLPM memiliki nilai yang tertinggi dibandingkan variasi lainnya.

Hasil laju kenaikan suhu air dapat menggunakan rumus persamaan 6.

$$\begin{aligned} \text{Laju kenaikan} &= \frac{\Delta \text{temperatur} (J)}{\Delta t (s)} \quad (6) \\ \text{Laju kenaikan} &= \frac{(66,67 - 27,75)}{3,054} \\ \text{Laju kenaikan} &= 12,74 \text{ }^\circ\text{C/jam} \end{aligned}$$

Tabel 6. Laju kenaikan suhu air

No Data	Temperatur °C	Waktu Total jam	Laju Kenaikan °C/ jam
0	27,75	3,054	12,74
2199	66,67		



Gambar 17. Laju kenaikan suhu air

Grafik laju kenaikan sangat dipengaruhi oleh hasil yang diperoleh pada laju penyerapan. Hal tersebut karena semakin besar laju penyerapan kalor pada air maka perubahan suhu semakin cepat dan perbedaan suhu yang didapatpun semakin besar, sementara waktu konstan.

4. Kesimpulan

Pengukuran laju penyerapan kalor pada tangki *solar water heater* dengan *paraffin wax* 600; 700; 800; 900 mLPM telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian adalah :

1. Laju penyerapan kalor air paling tinggi pada 900 mLPM yaitu 664,86 Joule/s dan laju penyerapan *paraffin wax* terbesar didapat pada 900 mLPM dengan nilai 53,15 Joule/s.
2. Laju kenaikan suhu air terbesar didapat oleh variasi debit 900 mLPM dengan nilai 13,28 Joule/s. Sedangkan nilai laju kenaikan *paraffin wax* terbesar terjadi pada variasi debit 900 mLPM dengan nilai 14,83 °C/jam.

REFERENCES

Journal:

- [1] Sudrajat, S. E., & Santosa, I. (2014). Perancangan Solar Water Heater Jenis Plat Datar Temperatur Medium Untuk Aplikasi Penghangat Air Mandi. *Jurnal Teknologi*.
- [2] Yuliananda, S., Gede, S., & Hastijanti, R. R. (2015). Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, 193-202.
- [3] Nadjib, M., & Santosa, T. H. (2017). Perilaku Thermal Pemanas Air Tenaga Surya yang Berisi PCM pada Unit Tangki. *THE 5th URECOL PROCEEDING. UAD, Yogyakarta*.
- [4] Medved, D., Kvakovsky, M., & Sklenarova, V. (2010). Latent Heat Storage Systems. *Intensive Progamme "Renwable Energy Sources". University of West Bohemia, Czech Republic*.
- [5] Sharma, S. E., Tyagi, V. V., Chen, R. C., & Buddhi, D. (2009). Riview on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 318-345.