

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengukuran Laju Penyerapan Kalor pada Tangki *Solar Water Heater* dengan Variasi Campuran *Paraffin Wax* dan Serbuk Tembaga dengan Berat 20% dan Variasi Debit Air 600; 700; 800; dan 900 mLPM

Judul Naskah Publikasi: Pengukuran Laju Penyerapan Kalor pada Tangki *Solar Water Heater* dengan Variasi Campuran *Paraffin Wax* dan Serbuk Tembaga dengan Berat 20% dan Variasi Debit Air 600; 700; 800; dan 900 mLPM

Nama Mahasiswa: Andi Septian

NIM: 20150130028

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

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

Hal yang dimintakan persetujuan *:

<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia	<input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

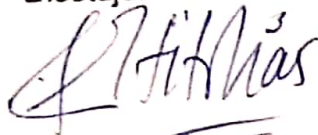
*beri tanda ✓ di kotak yang sesuai


Tanda Tangan
Andi Septian


Tanggal 30 Oktober 2019

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

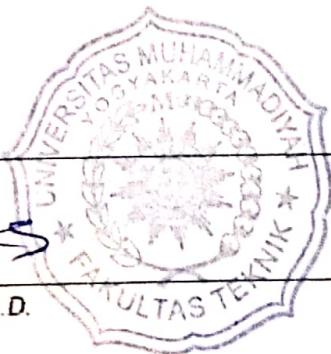
✓ Disetujui


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

Tanggal 30 Oktober 2019


Tanda Tangan
Berli Paripurna Kamief, S.T. M.Dc., Ph.D.

Tanggal 30 Oktober 2019



Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

**PENGUKURAN LAJU PENYERAPAN KALOR PADA TANGKI SOLAR WATER
HEATER DENGAN VARIASI CAMPURAN PARAFFIN WAX DAN SERBUK TEMBAGA
20 % DAN VARIASI DEBIT AIR 600; 700; 800; DAN 900 mLPM**

Andi Septian^a, Tito Hadji Agung Santosa^b, Teddy Nurcahyadi^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
^aandiseptian2010@gmail.com, ^btitoahas@umy.ac.id, ^cnurcahyadi@gmail.com

INTISARI

Solar water heater (SWH) merupakan salah satu teknologi alternatif untuk mendapatkan air panas dengan menggunakan energi matahari sebagai sumber energi dan air sebagai media penyimpanan panas. Air memiliki kekurangan yaitu densitas energi yang rendah untuk media penyimpanan panas. *Paraffin wax* memiliki densitas energi yang tinggi tetapi nilai konduktivitasnya rendah. Cara menanggulangnya dengan serbuk tembaga yang memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi. Tujuan penelitian untuk mendapatkan laju penyerapan kalor pada tangki *solar water heater* menggunakan metode charging.

Charging dilakukan dengan bantuan *heater* sebagai pemanas dan pompa sebagai bantuan sirkulasi air. Proses *charging* menggunakan variasi debit air 600; 700; 800; dan 900 mLPM hingga suhu air di dalam tangki SWH mencapai 70°C. Data yang didapat berupa data suhu tiap termokopel debit air dan waktu. Data diolah menjadi grafik energi kumulatif, grafik laju penyerapan kalor paraffin-CU sensibel dan laten, grafik laju kenaikan suhu paraffin-Cu sensibel dan laten.

Hasil penelitian didapatkan laju penyerapan *paraffin-CU laten* dan *sensibel* tertinggi terdapat pada variasi 800 mLPM dengan nilai 234,16 J/s dan 62,13 J/s. Sedangkan laju kenaikan suhu paraffin-CU *laten* dan *sensibel* tertinggi terdapat pada variasi 800 mLPM dengan nilai 12,61 °C dan 13,48 °C. Sehingga variasi yang ideal pada penelitian ini adalah 800 mLPM karena tidak memerlukan waktu yang lama untuk mencapai target suhu 70 °C.

Kata kunci : SWH, *Paraffin wax-CU* , *charging*

ABSTRACT

Solar water heater (SWH) is an alternative technology to get hot water by using solar energy as an energy source and water as a heat storage media. water has the disadvantage of low energy density for heat storage media. Paraffin wax has a high energy density but a low conductivity value. To fix it with copper powder which has a high thermal conductivity value. The research objective is to obtain the rate of heat absorption in solar water heater tanks using the charging method.

Charging is done with the help of a volt regulator as a heater and a pump as an aid in circulating water. The charging process uses a variation of 600; 700; 800; and 900 mLPM until the water temperature in the SWH tank reaches 70 °C. The data obtained in the form of temperature data for each thermocouple. The data is processed into a cumulative energy graph, a sensible and latent paraffin-CU absorption rate graph, a sensible and latent paraffin-Cu increase rate graph.

The results showed the highest absorption rate of latent and sensible paraffin-CU was found in variations of 800 mLPM with values of 234,16 J / s and 62,13 J / s. While the highest rate of latent and sensible paraffin-CU increased at variation of 800 mLPM with values of 12,61 °C and 13,48 °C. So the ideal variation in this research is 800mLPM because it does not require a long time to reach the 70 °C.

Keywords : SWH, *Paraffin wax-Cu* , *charging*

1. Pendahuluan

Makhluk hidup membutuhkan air untuk bertahan hidup. Air merupakan senyawa kimia yang berlimpah di alam. Kebutuhan air bertambah seiring dengan meningkatnya taraf hidup manusia (Susana, 2003), yang digunakan untuk mencuci, minum, dan mandi (Slanturi dan Himsar, 2012). Di Indonesia, biasanya mandimenggunakan air dingin dan air panas, sehingga kebutuhan akan air panas semakin meningkat (Slanturi dan Himsar, 2012). Air panas diperoleh dengan cara memasak menggunakan bahan bakar. Bahan bakar yang biasanya digunakan adalah bahan bakar fosil, tetapi penggunaan bahan bakar ini dapat menimbulkan polusi udara serta tidak dapat diperbarui, sehingga bahan bakar fosil secara perlahan akan habis. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan air panas, maka diperlukan alternatif lain untuk memenuhi kebutuhan air panas. Pengembangan teknologi yang mampu mengatasi kebutuhan tersebut, salah satunya adalah *Solar Water Heater* (SWH).

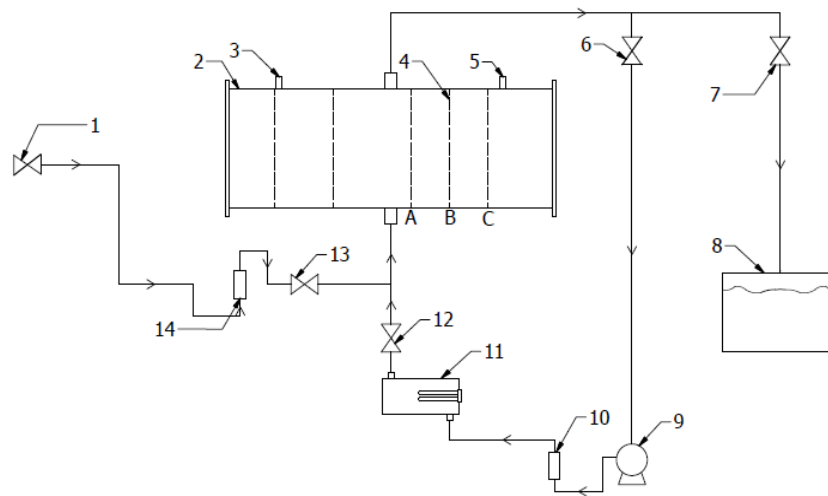
SWH menghasilkan air panas yang efektif untuk kebutuhan perumahan. SWH menggunakan energi surya sebagai sumber energi pemanas. Di Indonesia, energi surya sangatlah melimpah dengan rata-rata 4,5 kWh/m²/hari (Tatyantoro A. Dkk., 2010). SWH memiliki biaya awal yang cukup mahal dan memerlukan biaya perawatan yang cukup tinggi karena masih menggunakan pemanas tambahan berupa *heater* (Jufrizal. Dkk., 2014). SWH menggunakan air sebagai media penyimpanan panas. Dimana air merupakan penyimpan panas sensibel.

Penyimpanan kalor sensibel atau *Sensibel Heat Storage* (SHS) memiliki kelebihan yaitu harga yang murah, memiliki sifat perpindahan kalor yang baik, dan memiliki densitas energi yang rendah (Nadjib dan Suhanan., 2013). Selain dengan menggunakan SHS penyimpanan kalor juga bisa menggunakan *latent heat storage* (LHS). LHS adalah penyimpanan kalor menggunakan perubahan *phase change material* (PCM). Material yang dapat digunakan sebagai PCM salah satunya adalah *paraffin wax*. *Paraffin wax* memiliki kelebihan yaitu densitas .

energi yang cukup tinggi(~ 200 kJ/kg), tidak berbahaya, tidak reaktif dan sifat termalnya stabil di bawah 500°C, tetapi *paraffin wax* memiliki kelemahan yaitu nilai konduktivitas termal rendah (~ 0,2 W/m.°C) (Nadjib, dkk, 2015). Sehingga proses *charging* dan *discharging* SWH memerlukan waktu yang lama. Untuk mempercepat penyerapan panas pada *paraffin wax* maka perlu ditambahkan serbuk tembaga. Menurut Cengel (2003) serbuk tembaga memiliki nilai konduktivitas termal tinggi, yaitu pada suhu 300 konduktivitas termal mencapai 401 W/m.K. Campuran *paraffin wax* dan serbuk tembaga adalah alternatif penyimpanan panas yang baik dalam SWH untuk mengatasi lambatnya pelepasan kalor. Oleh sebab itu, penambahan campuran serbuk tembaga pada *paraffin wax* didalam tangki TES diharapkan akan lebih optimal untuk penelitian SWH ini.

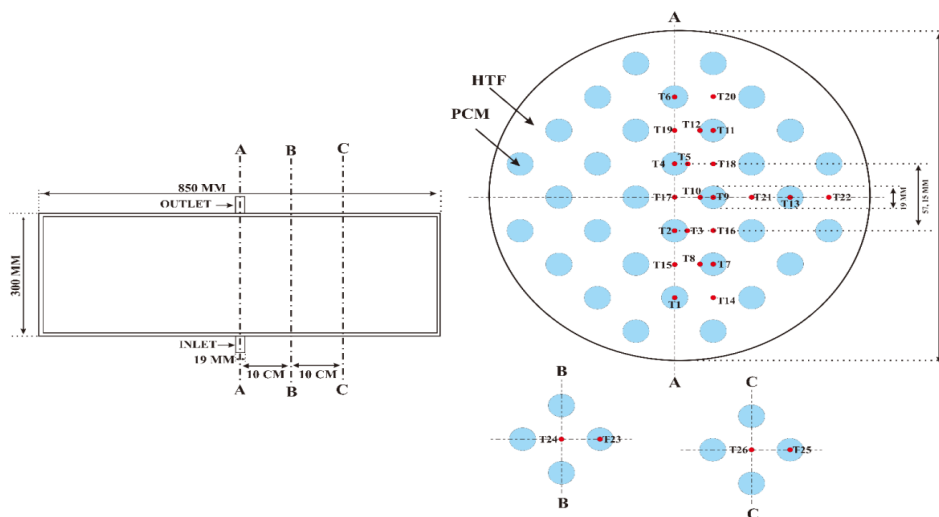
2. Metode Penelitian

Penelitian pada tangki SWH sistem aktif kapasitas 60 liter menggunakan air, *paraffin wax* dan serbuk tembaga 20%. Skema alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema SWH : (1) Katup *Supply* Air, (2) Tangki SWH, (3) Termokopel Masuk Sisi Kiri, (4) Strimin, (5) Termokopel Masuk Sisi Kanan, (6) Katup *Charging* Keluar Tangki, (7) Katup *Discharging* Keluar Tangki, (8) Bak Air, (9) Pompa, (10) Rotameter Air *Charging*, (11) *Heater*, (12) Katup *Charging* Masuk Tangki, (13) Katup *Discharging* Masuk Tangki, (14) Rotameter Air *Discharging*

Pada tangki SWH terdapat pipa-pipa tembaga yang berisi PCM dan terpasang termokopel disetiap pipanya. Posisi pemasangan termokopel pada pipa seperti pada Gambar 2.



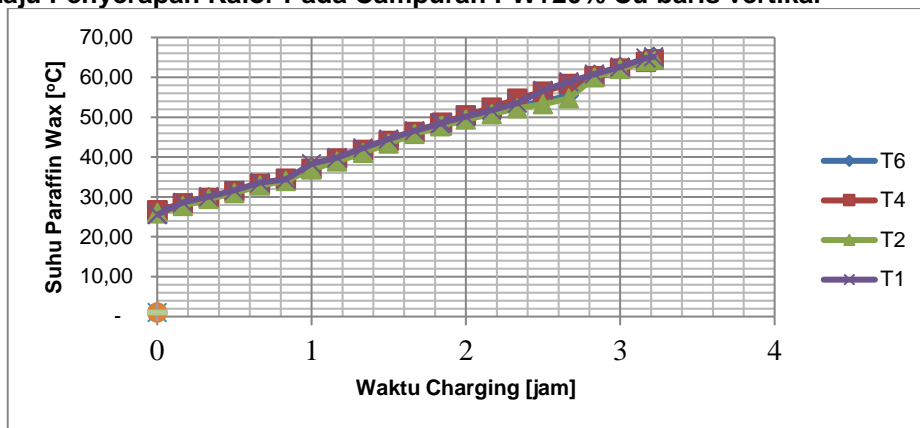
Gambar 2 Penempatan Termokopel Pada Strimin

Penelitian diawali dengan proses persiapan berupa penyerapan energi termal yang dilakukan pada proses *charging*. Proses *charging* dilakukan dengan cara mengisi air pada tangki SWH, kemudian mengatur volt regulator untuk mengatur suhu yang dihasilkan

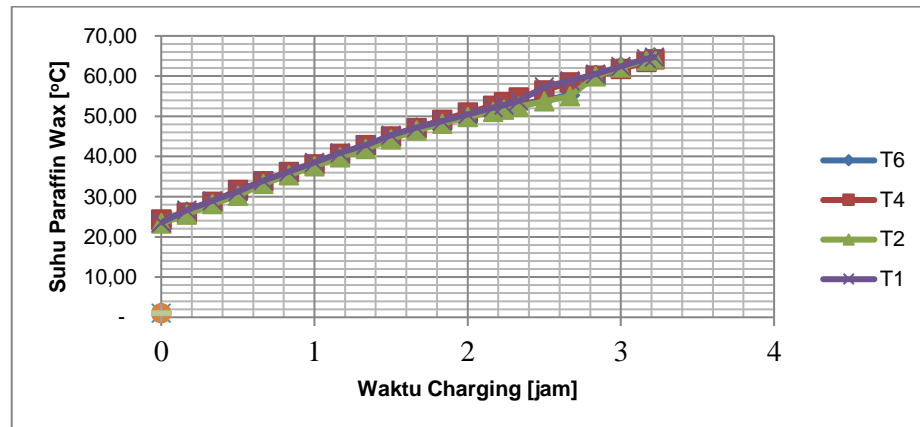
heater dan mengatur rotameter untuk variasi debit air. Proses charging dilakukan hingga suhu T24 mencapai 70°C. Variasi debit air yang digunakan 600; 700; 800; dan 900 mLPM. Setelah suhu mencapai 70°C, maka didapatkan data suhu dan waktu selama pengambilan data. Data suhu tersebut kemudian diperhatikan dengan seksama apakah terdapat suhu yang mengalami penurunan selama pengambilan data. Jika terdapat penurunan suhu, maka ulangi kembali proses pengambilan data dan jika tidak terdapat penurunan suhu, lakukan proses olah data dengan cara membuat plot grafik evolusi suhu paraffin wax-Cu, grafik laju kenaikan kalor paraffin wax-CU, dan grafik laju penyerapan paraffin wax-Cu terhadap waktu selama proses *charging*.

3. Hasil dan Pembahasan

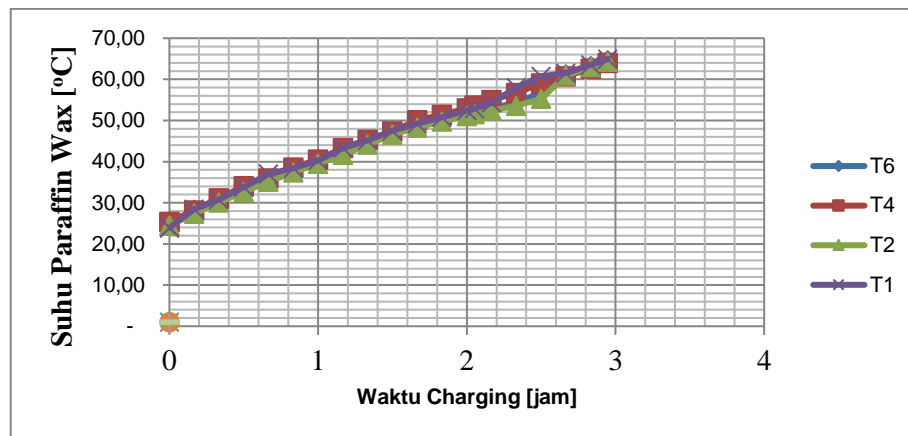
3.1 Laju Penyerapan Kalor Pada Campuran PW+20% Cu baris vertikal



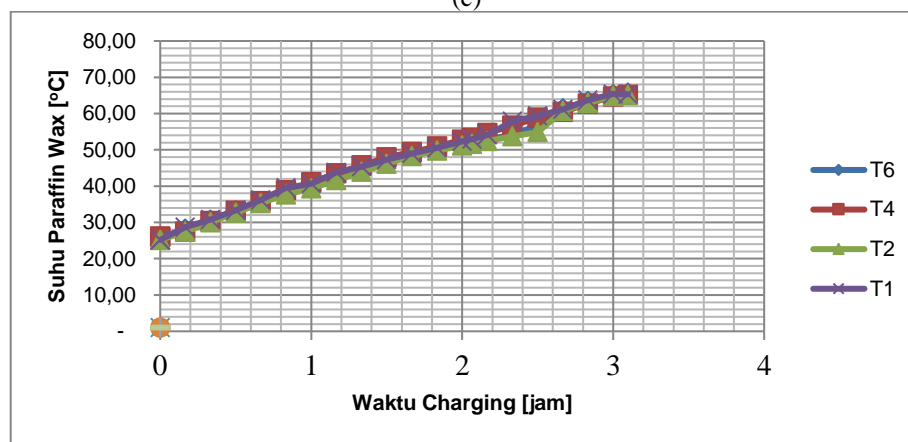
(a)



(b)



(c)

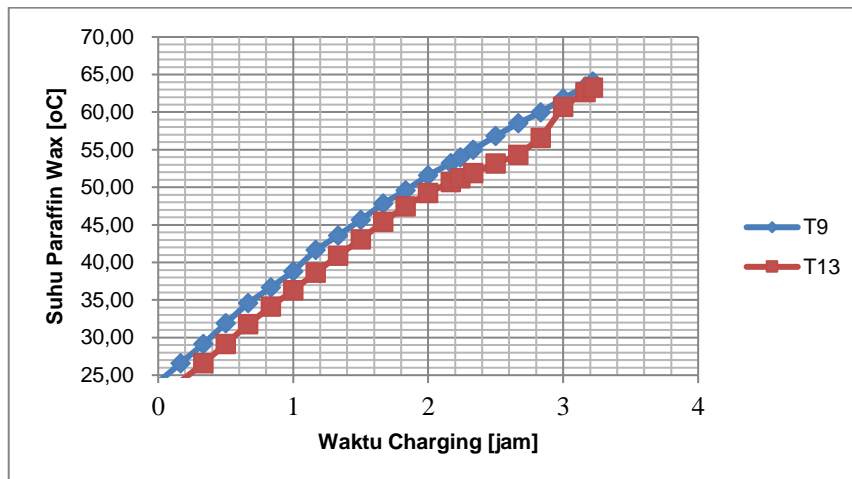
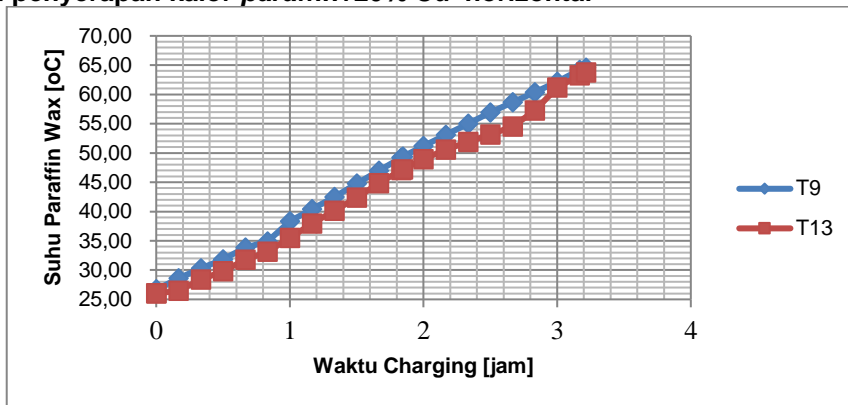


(d)

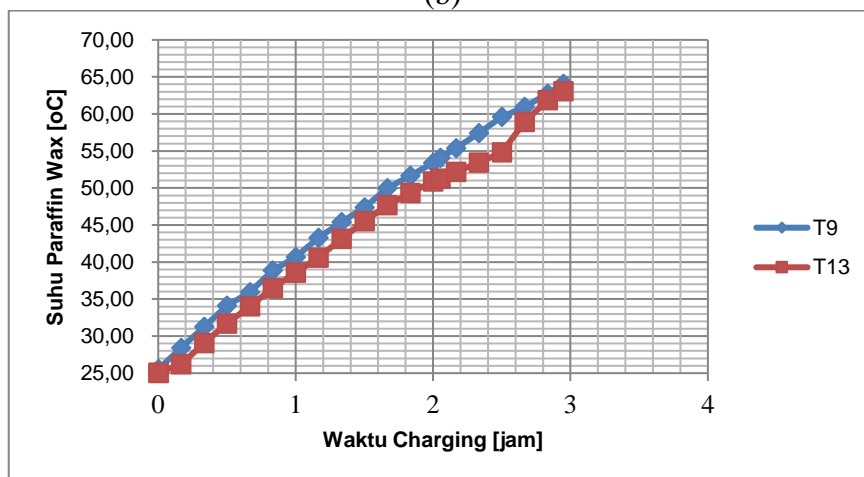
Gambar 3 Penyerapan *paraffin-Cu* baris vertikal (a) 600 mLPM, (b) 700 mLPM, (c) 800 mLPM, (d) 900 mLPM

Dari keempat grafik diatas dapat dilihat suhu pada termokopel mengalami kenaikan secara konstan selama proses *charging*, namun pada saat proses *charging* memasuki 2,1 jam terjadi penurunan suhu. Hal ini terjadi karena pada saat suhu menyentuh 50°C hingga 60°C *paraffin-cu* didalam pipa mengalami perubahan fasa. Hal ini sesuai dengan hasil uji DSC yang dapat dilihat pada Gambar 3.13. Hasil uji DSC menyatakan *paraffin-Cu* 20% akan mengalami perubahan fasa pada suhu 52,83°C. Keempat variasi memiliki perbedaan lama waktu pengujian hal ini disebabkan oleh perbedaan debit yang disengaja divariasikan.

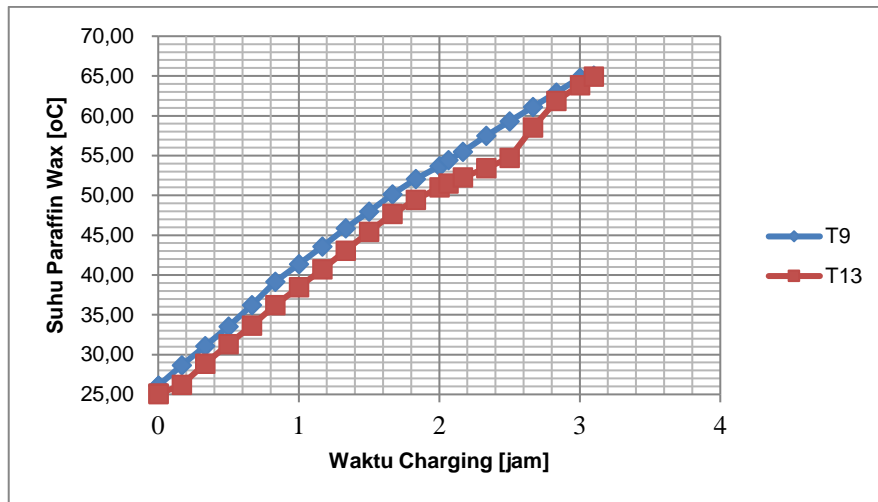
3.2 Laju penyerapan kalor paraffin+20% Cu horizontal



(b)



(c)

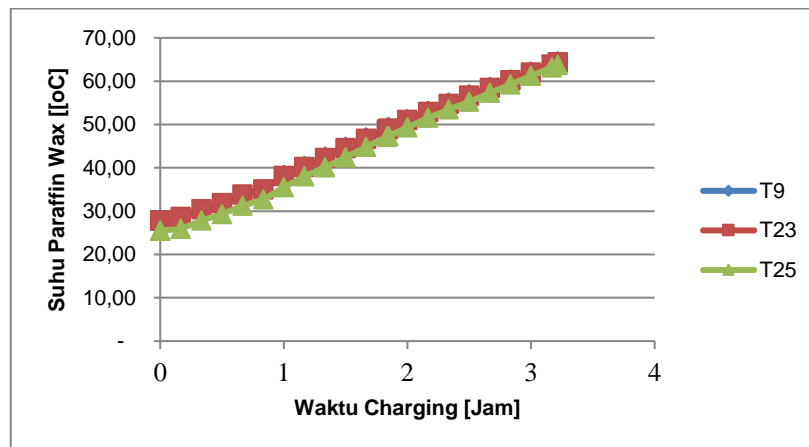


(d)

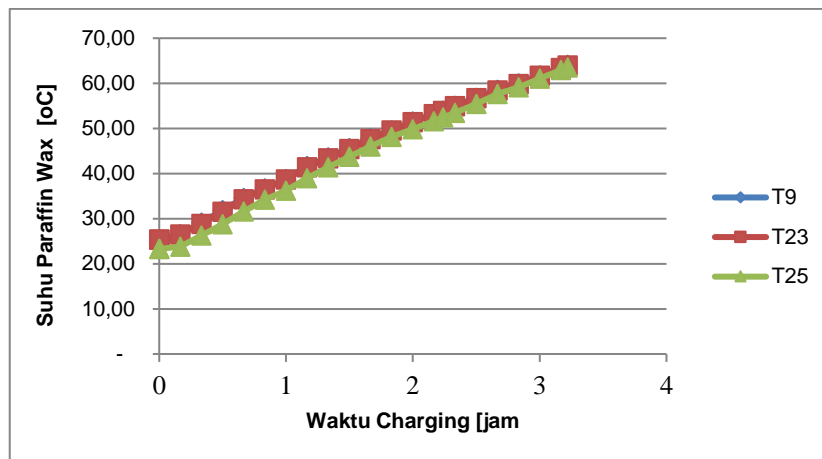
Gambar 4 Penyerapan paraffin-Cu baris horisontal (a) 600 mLPM, (b) 700 mLPM, (c) 800 mLPM, (d) 900 mLPM

Dari gambar 4 dapat dilihat suhu T9 selalu lebih tinggi dari suhu T13. Hal ini terjadi karena letak posisi T9 lebih dekat dari keluaran air heater dari pada T13, yang membuat suhu diterima T9 lebih tinggi dari pada suhu yang diterima T13. Perbedaan suhu jelas terlihat ketika proses charging memasuki melting point dan kembali sama sekitar suhu 60°C.

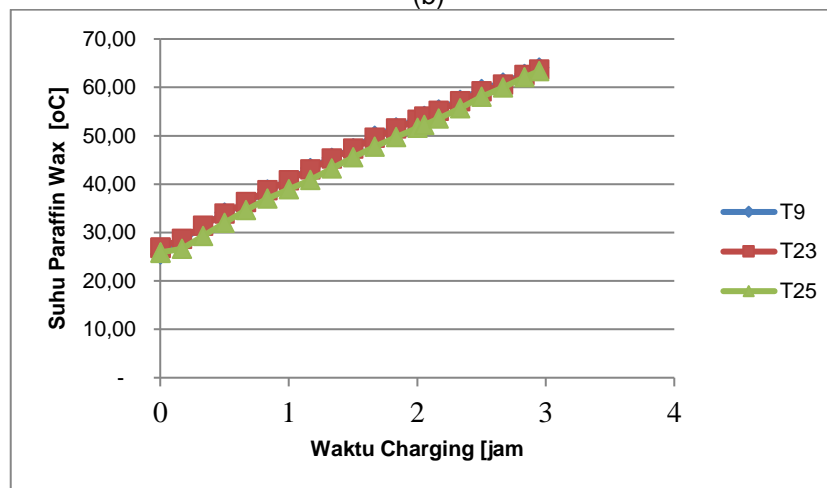
3.3 Laju penyerapan kalor paraffin+ 20%Cu aksial



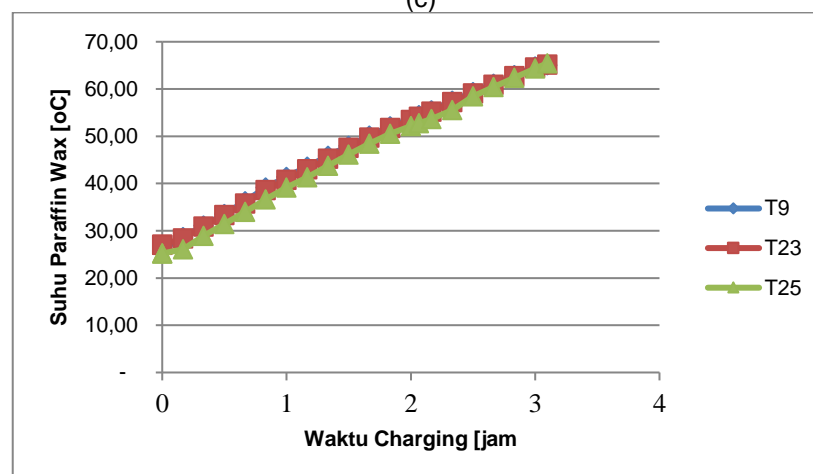
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5 Penyerapan *paraffin-Cu* baris aksial (a) 600 mLPM, (b) 700 mLPM, (c) 800 mLPM, (d) 900 mLPM

Dari grafik-grafik diatas dapat dilihat bahwa suhu termokopel mengalami kenaikan yang konstan dan linear. Suhu termokopel T25 adalah yang terendah diantara ketiga termokopel, hal ini terjadi karena lambatnya perubahan fasa pada *paraffin-cu*

didalam kapsul. Terjadinya perbedaan perubahan fasa mungkin terjadi karena campuran yang kurang sama rata antara satu sama lain sehingga perubahan fasanya juga membutuhkan suhu yang berbeda. Ketika suhu mendekati 60°C *paraffin-cu* didalam kapsul sudah berubah fasa, hal ini bisa dilihat pada grafik ketiga termokopel mulai sejajar.

3.4 Laju Penyerapan *Paraffin-Cu* Sensibel

Hasil laju penyerapan *paraffin wax* Cu 20% sensibel didapat dengan menggunakan persamaan 1

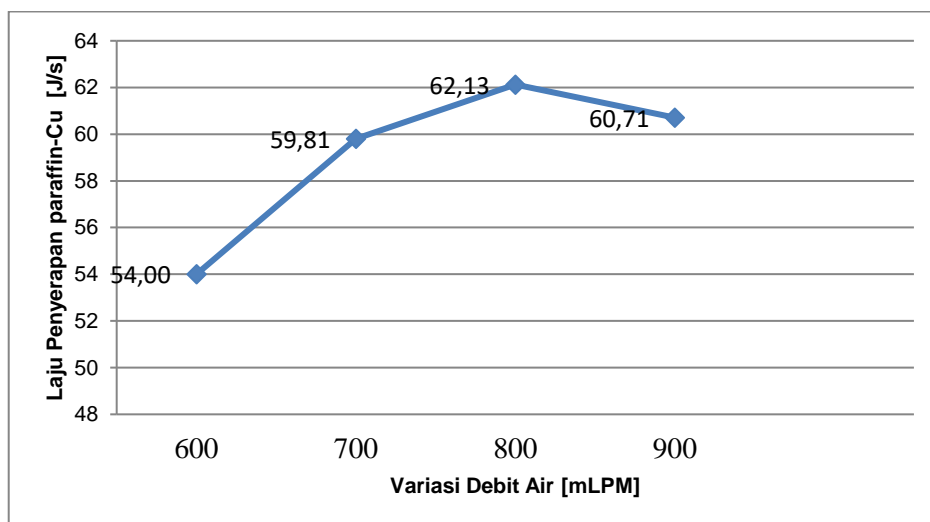
$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{Q \text{ Kumulatif (J)}}{\text{Waktu total (s)}} \quad (1)$$

$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{302734,72(J)}{9285 (s)}$$

$$\text{Laju Penyerapan} = 54,0J/s$$

Tabel (1) Data Laju Penyerapan PW Cu 20% Sensibel

No data	<i>Q</i> kumulatif	<i>Waktu Total</i>	<i>Laju Penyerapan</i>
	J	S	J/s
1857	302734,72	9285	54,0J/s



Gambar 6 Grafik laju penyerapan paraffin-Cu Sensibel

Dari gambar 6 dapat dilihat laju penyerapan *paraffin-Cu* sensibel selama proses *charging*. *Paraffin-Cu* masih dalam berbentuk padat yang disebut dengansensibel. Laju penyerapan paraffin-CU berbanding lurus dengan variasi debit air, semakin tinggi debit air semakin tinggi nilai laju penyerapan paraffin-Cu. Namun pada grafik nilai tertinggi ditunjukkan pada variasi 800mLPM bukan variasi 900mLPM, hal ini terjadi karena saat proses *charging* variasi 900mLPM mengalami kebocoran selang pompa yang membuat proses perubahan fasa terhambat sehingga laju penyerapan juga terhambat.

3.5 Laju penyerapan *Paraffin-Cu* Laten

Hasil penyerapan *paraffin wax* Cu 20% laten didapat dengan menggunakan persamaan 2.

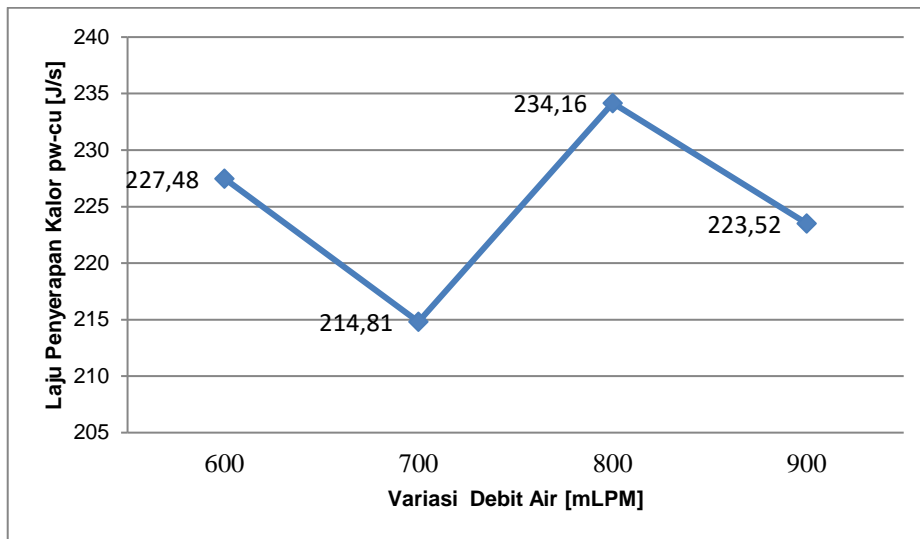
$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{\Delta Q \text{ Kumulatif (J)}}{\Delta \text{Waktu (s)}} \quad (2)$$

$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{1002619,63 - 305157,08 \text{ (J)}}{14830 - 9290 \text{ (s)}}$$

$$\text{Laju Penyerapan} = 227,48 \text{ J/s}$$

Tabel 2 Data Laju Penyerapan PW Cu 20% Laten

No data	<i>Q</i> kumulatif	<i>Waktu Total</i>	<i>Laju Penyerapan</i>
	J	S	J/s
1858	305157,08	9290	227,48 J/s
2966	1002619,63	14830	



Gambar 7 Grafik laju penyerapan paraffin-Cu laten

Dari gambar 7 dapat dilihat laju penyerapan *paraffin-Cu* laten selama proses *charging*. Hasil grafik menunjukkan variasi 600 mLPM memiliki nilai 227,48 joule/s variasi 700 mLPM memiliki nilai 214,81 joule/s variasi 800mLPM memiliki nilai 234,16 joule/s dan 900 mLPM memiliki nilai 223,52 joule/s. Grafik mengalami penurunan dan kenaikan, hal ini terjadi karena suhu yang dihasilkan dan diserap *paraffin-CU* berbeda-beda dan kebocoran selang pompa juga mempengaruhi nilai penyerapan *paraffin-Cu*. Dari keempat variasi tersebut variasi 800 mLPM memiliki nilai tertinggi dalam proses laju penyerapan *paraffin-Cu* laten sedangkan variasi 700mLPM adalah yang terendah diantar keempat variasi tersebut.

3.6 Laju kenaikan *Paraffin-Cu* Sensibel

Hasil kenaikan *paraffin wax* Cu 20% sensibel didapat dengan menggunakan persamaan 3

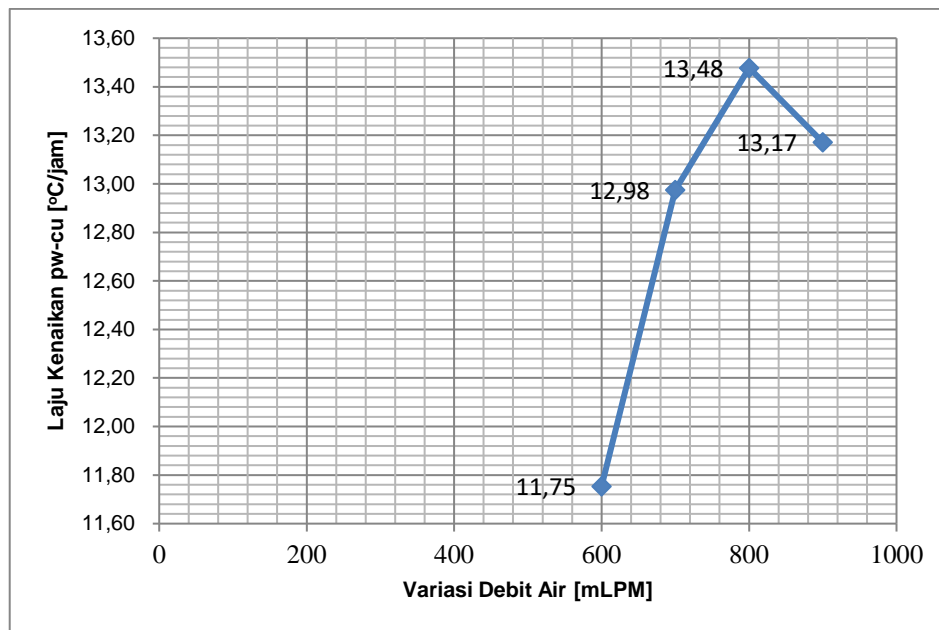
$$\text{Laju Kenaikan} = \frac{\Delta \text{Temperatur} (^{\circ}\text{C})}{\Delta \text{Waktu} \text{ (s)}} \quad (3)$$

$$\text{Laju Kenaikan} = \frac{(52,17 - 27,58)}{(2579 - 0)}$$

$$\text{Laju Kenaikan} = 11,75 \text{ }^{\circ}\text{C/jam}$$

Tabel 3 Data Laju Kenaikan PW Cu 20% Sensibel

No data	Temperatur	<i>Waktu</i>	<i>Laju Kenaikan</i>
	$^{\circ}\text{C}$	jam	$^{\circ}\text{C/jam}$
0	27,58	0	11,75
1857	52,17	2579	



Gambar 8 Grafik laju kenaikan paraffin-Cu sensible

Dari gambar 8 dapat dilihat nilai laju kenaikan paraffin-cu sensibel mengalami kenaikan yang konstan pada variasi 600, 700 dan 800 mLPM, sedangkan pada variasi 900 mengalami sedikit penurunan nilai, hal ini terjadi karena pada saat pengambilan data variasi 900 mengalami kebocoran selang, yang mengakibatkan udara masuk dan membuat penyerapan kalor pada paraffin-Cu sedikit terhambat. Adapun nilai lajukenaikan paraffin-CU sensibel tertinggi didapat pada variasi 800 mLPM dengan nilai 13,48°C/jam, dan terendah terdapat pada variasi 600 mLPM dengan nilai 11,75°C/jam.

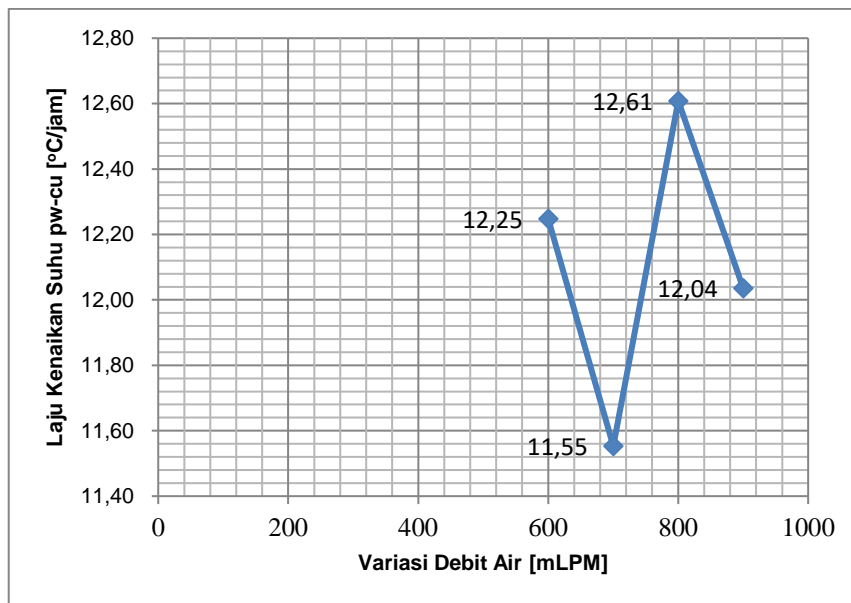
3.7 Laju kenaikan *Paraffin-Cu* Laten

Hasil kenaikan *paraffin wax* Cu 20% laten didapat dengan menggunakan persamaan 4

$$\text{Laju Kenaikan} = \frac{\Delta \text{Temperatur} (^{\circ}\text{C})}{\Delta \text{Waktu} (\text{s})} \quad (4)$$

$$\text{Laju Kenaikan} = \frac{(66,19-52,22)}{(4119-2581)}$$

$$\text{Laju Kenaikan} = 12,25 \text{ } ^{\circ}\text{C/jam}$$



Gambar 9 Grafik laju kenaikan paraffin-Cu laten

Dari gambar 8 dapat dilihat nilai laju kenaikan paraffin-Cu laten yang mengalami kenaikan dan penurunan setiap variasinya. Hal ini terjadi karena proses penyerapan kalor setiap variasi berbeda-beda yang mengakibatkan pelelehan paraffin-Cu setiap variasi juga berbeda-beda. Salah satu penyebabnya adalah kebocoran selang pada pengambilan data, yang menimbulkan heat loss disuatu variasi. Besar heat loss membuat proses pelelehan lebih lambat sehingga nilai laju kenaikan paraffin-cu menjadi kecil. pada grafik diatas variasi 800 mLPM dengan nilai 12,61 °C/jam menjadi yang tertinggi untuk laju kenaikan paraffin-Cu laten dan variasi 700 mLPM dengan nilai 11,55 menjadi yang terendah.

4. Kesimpulan

Pengukuran laju penyerapan kalor pada tangki *solar water heater* dengan kapsul berisi campuran *paraffin wax* dan serbuk tembaga 20% dengan variasi debit air 600, 700, 800, dan 900 mLPM telah dilakukan, dengan telah dilakukannya penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai evolusi suhu pada *paraffin wax* Cu sangat dipengaruhi oleh perubahan fasa yang terjadi pada PCM. Saat PCM mulai mencapai suhu leleh, grafik akan mengalami naik turun dan akan kembali normal setelah mencapai puncak disekitar 61,25. Nilai evolusi suhu pada air tidak terlalu terlihat perbedaan yang signifikan terjadi.
2. Laju penyerapan air terendah terjadi pada variasi 600 mLPM dengan nilai laju penyerapan air 473,14 J/s. Laju penyerapan PCM sensibel dan laten terendah terjadi pada variasi 600 dan 700 mLPM dengan nilai 54,00 J/s dan 214,81 J/s. Nilai dari laju penyerapan kalor dipengaruhi oleh waktu pengujian, semakin lama waktu pengujian maka akan semakin rendah nilainya.
3. Laju kenaikan suhu air terendah terjadi pada variasi 600 mLPM dengan nilai laju kenaikan suhu 9,45 °C/jam. Laju kenaikan suhu PCM sensibel dan laten terendah terjadi pada variasi 600 dan 700 mLPM dengan nilai 11,75 °C/jam dan 11,55 °C/jam. Rendahnya nilai laju kenaikan suhu dipengaruhi oleh faktor waktu pengujian, semakin lama pengujian maka semakin rendah nilainya.

Daftar Pustaka

- Cengel, Y. A. (2003). *Heat Transfer A Practical Approach Second Edition*. Mc Graw Hill: Inc.
- Nadjib, M. &. Dkk (2015). Studi Eksperimental Penyimpanan Energi Termal Pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Yang Berisi PCM. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Mesin XIV*.
- Najib, M. &. Suhanan (2013). Studi Eksperimental Penyimpan Energi Termal Proses Charging pada Pemanas Air Tenaga Surya Thermosyphon Menggunakan Air dan Paraffin Wax sebagai material Penyimpan Kalor. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII*.
- Susana, T. (2003). Air Sebagai Sumber Kehidupan. *Oseana, Volume XXVIII, Nomor 3.*, 17-25.
- Slanturi, A. E. (2012). Studi Pemanfaatan Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Kotak Sederhana yang Dilengkapi Thermal Storage Solar Water Heater. *Jurnal Dinamis, Volume I, No 11*.
- Jufrizal, &. d. (2014). Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar Dengan Penambahan Thermal Energy Storage . *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder, Vol. 1 No.2*, 27-36.