

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 Kapsul yang Berisi Campuran Paraffin Wax dan Serbuk Tembaga 10% Berat dengan Variasi Debit Air 600, 700, 800, dan 900 Mlpm

Judul Naskah Publikasi: *The Measurement of the Rate of Heat Absorption on the Solar Water Heater Tank with Capsule Containing Mix of Paraffin Wax and 10% Copper Powder with Variation Rate of Flow 600, 700, 800 and 900 mLPM*

Nama Mahasiswa: **Muhammad Isnan**

NIM: **20150130175**

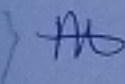
Pembimbing 1: **Tito Hadji Agung Santosa, S.T., M.T.**

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

Hal yang dimintakan pesetujuan *:

<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

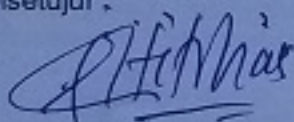
Nama Mahasiswa **Muhammad Isnan**

Tanggal

1 Agustus 2019

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui



Tanda Tangan

Dosen Pembimbing

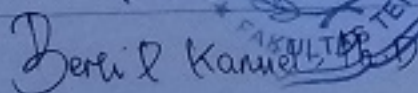

Tito Hadji A.S.

1-8-2019

Tanggal

Tanda Tangan

Ketua/Sekretaris Program Studi

Tanggal

03 Agustus 2019

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

PENGUKURAN LAJU PENYERAPAN KALOR PADA TANGKI SOLAR WATER HEATER DENGAN KAPSUL YANG BERISI CAMPURAN PARAFFIN WAX DAN SERBUK TEMBAGA 10% BERAT DENGAN VARIASI DEBIT AIR 600, 700, 800 DAN 900 MLPM

Muhammad Isnan, 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,
^amisanan275@gmail.com, ^btitoahas@yahoo.com, ^cnurcahyadi@gmail.com

Abstrak

Potensi panas matahari yang berlimpah dapat dimanfaatkan sebagai *Solar Water Heater* (SWH). SWH konvensional memiliki kekurangan yaitu ketidaksesuaian waktu penyerapan panas dengan waktu penggunaannya. Untuk mengatasi masalah ini digunakan tangki *Thermal Energy Storage* (TES) yang menggunakan metode *Latent Heat Storage* (LHS). Pada metode ini akan menggunakan paraffin dan serbuk tembaga 10% berat sebagai *Phase Change Material* (PCM). Paraffin yang mempunyai densitas energi tinggi yang dicampur dengan tembaga agar memiliki konduktivitas yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju penyerapan kalor yang terjadi selama proses charging dengan variasi debit.

Penelitian ini menggunakan air sebagai *Heat Transfer Fluid* (HTF) serta PCM yang terdiri dari campuran paraffin wax dan serbuk tembaga sebagai media penyimpanan panas. Heater digunakan dalam penelitian ini sebagai simulator panas yang diberikan matahari. Termokopel yang terpasang dalam tangki TES dan tersambung pada data logger merekam suhu setiap 5 detik sekali. Proses *charging* berjalan secara terus menerus hingga suhu *outlet* tangki TES mencapai suhu 70 °C. Proses charging akan diulang pada 4 variasi debit yaitu 600, 700, 800 dan 900 mLPM.

Hasil penelitian ini menunjukkan laju penyerapan yang didapat oleh Paraffin-Cu pada kondisi laten, mengasilkan enegi yang jauh lebih banyak diterima dibandingkan laju penyerapan dalam kondisi sensibel. Nilai penyerapan paraffin-Cu terbesar didapat 188.21 joule/s pada kondisi laten sedangkan 46.56 joule/s pada kondisi sensibel. Hasil penelitian menyatakan semakin besar debit, maka semakin besar juga laju penyerapan dan kenaikan suhu.

Kata Kunci: SWH, LHS, charging, paraffin, tembaga

Abstract

The large potential of solar heat can be used as a Solar Water Heater (SWH). Conventional SWH has a disadvantage, namely the discrepancy of heat absorption time with its use time. To resolve this problem, Thermal Energy Storage (TES) tanks are used using the Latent Heat Storage (LHS) method. This method uses 10% paraffin and copper powder as Phase Change Material (PCM). Paraffin which has a high energy density mixed with copper to have high conductivity. The purpose of this study is to know the rate of heat absorption that occurs during the charging process with variations in flow of rate.

This study used water as Heat Transfer Fluid (HTF) and PCM which consists of a mixture of paraffin and copper powder as a heat storage medium. The heater used in this study as heat simulator given by the sun. The thermocouples installed in the TES tank and connected to the data logger recorded temperature every 5 seconds. The charging process continues until the temperature of the TES outlet reaches a temperature of 70 °C. The charging process will be repeated on 4 variations of flow rate, namely 600, 700, 800 and 900 mLPM.

The results of this study indicate the absorption rate obtained by Paraffin-Cu at latent conditions, shows that much more energy is received than the absorption rate in sensible conditions. The highest absorption value of Cu-paraffin was obtained 188.21 joules / s in latent conditions while 46.56 joules / s in sensible conditions. The results of the study stated that the greater the flow of rate, then the greater the rate of absorption and increase in temperature.

Keywords: SWH, LHS, charging, paraffin, copper

1. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu negara yang titik geografisnya dilewati oleh jalur khatulistiwa. Sehingga sebagian besar wilayah Indonesia memiliki potensi energi radiasi matahari yang melimpah. Potensi energi matahari secara nasional adalah 16 MJ/hari (Ginting & Saferi, 2018). Salah satu bentuk pemanfaatannya untuk pemanasan air. Air panas dalam kehidupan manusia biasanya digunakan dalam berbagai aspek kehidupan kebutuhan masyarakat, seperti memasak, mandi, kolam air hangat serta kebutuhan lainnya. Pada umumnya untuk memanaskan air masih menggunakan bahan bakar fosil seperti LPG yang bersumber dari minyak bumi yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan karena dapat mempercepat pemanasan global dengan menimbulkan polusi udara seperti CO, CO₂ dan lain-lain (Ginting & Saferi, 2018). Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dipakai alat pemanasan air tenaga surya yang disebut *solar water heater* (SWH). Salah satu metode yang efektif dalam pengolahan energi termal dalam SWH adalah *latent heat storage* (LHS) karena pada metode ini menggunakan *phase change material* (PCM). Salah satu material PCM itu adalah *paraffin wax* yang memiliki densitas energi tinggi (~ 200 kJ/kg). Maka dari itu untuk mengatasi kelemahan tersebut perlu ditambahkan serbuk tembaga yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi sebesar 401 W/m.K. Penelitian ini akan mensimulasikan SWH *thermosyphon* yang mempunyai debit cenderung rendah sebesar 10cm³/s atau 600 mLPM. Sehingga penambahan campuran tembaga sebesar 10% berat pada *paraffin wax* dan pengaturan debit ini diharapkan mampu memperbesar nilai konduktivitas termal dari campuran sehingga masalah lambatnya penyerapan kalor.

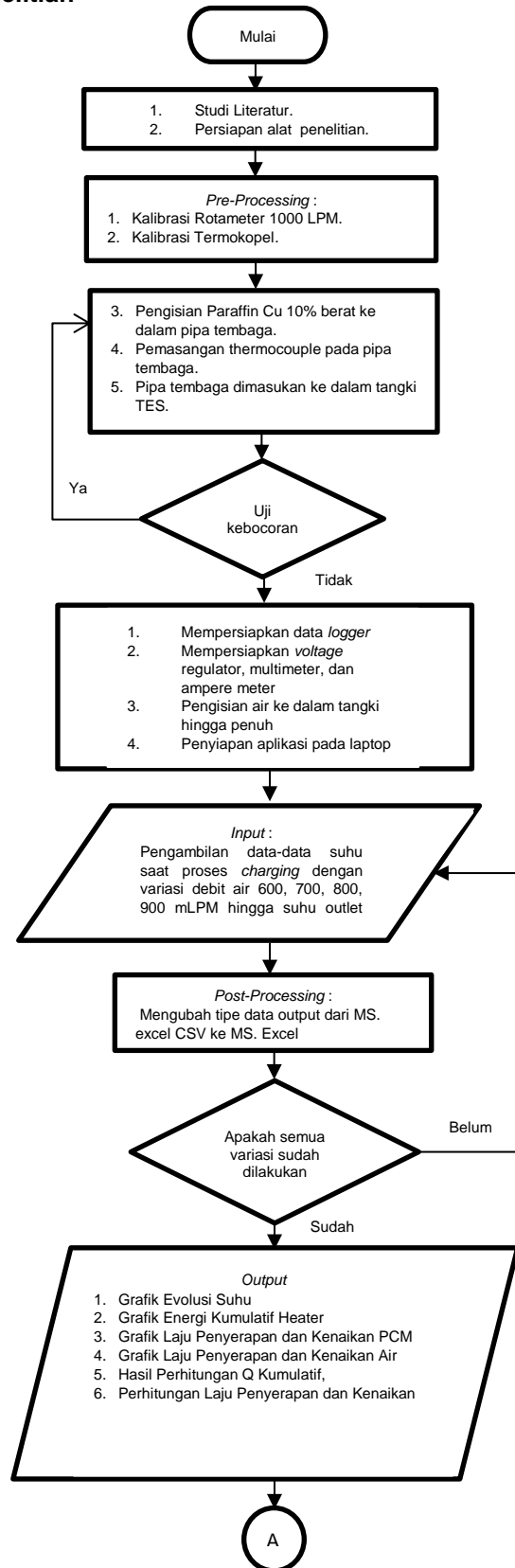
Penelitian penggunaan nanomaterial pada fluida untuk meningkatkan perpindahan panas secara konveksi dilakukan oleh Xiang-Qi (2007). Perpindahan panas pada penelitian ini ditingkatkan dengan cara mengubah laju geometri serta meningkatkan konduktivitas termal fluida tersebut. Salah satu bentuk pencampuran nanomaterial pada fluida untuk peningkatan konduktivitas termal adalah pencampuran nanomaterial jenis tembaga dengan fluida yang digunakan air, minyak dan oli.

Penelitian nanofluid yang direkayasa dengan menambahkan tembaga fasa-nano ke dalam HTF konvensional untuk menghasilkan kelas baru HTF dilakukan oleh Choi dan Eastman (1995). Hasil dari penelitian ini yang berupa konduktivitas termal yang diharapkan mampu dibandingkan dengan HTF yang digunakan saat ini. Hasil yang diharapkan yaitu berupa perbandingan konduktivitas termal sebelum dan setelah penambahan fasa-nano. Hasil dari penelitian dapat meningkatkan nilai dari konduktivitas termal dan mampu mengurangi daya yang dibutuhkan pada saat pertukaran panas secara signifikan. Sehingga batasan utama konduktivitas termal yang rendah dalam pengembangan energi-efektif HTF dapat diatasi.

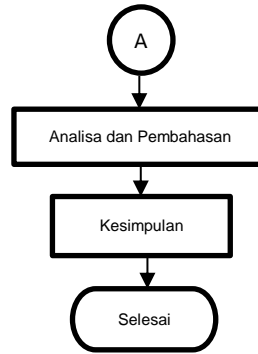
Schukina dkk (2018) melakukan penelitian mengenai penggunaan nano-encapsulation pada PCM. PCM disini berfungsi sebagai media penyimpanan panas dalam jumlah besar saat fase transisi dan juga untuk meningkatkan efisiensi saat perpindahan panas. Penelitian ini menggunakan nano-encapsulation untuk memberikan perlindungan pada PCM dari lingkungan eksternal dan untuk meningkatkan luas permukaan secara besar yang berguna dalam proses perpindahan panas. Dalam penelitian ini menyoroti tentang teknik enkapsulasi baik PCM organik dan anorganik dengan menggunakan nano-encapsulation dalam ukuran 1 nm.

Penelitian yang dilakukan Lin & Al Kayiem (2016) juga merupakan pencampuran nanomaterial namun hanya menggunakan campuran tembaga. Pada penelitian ini campuran *paraffin wax* dengan Cu berfungsi sebagai PCM, yang bertujuan untuk menaikkan nilai konduktivitas termal pada tangki TES. Nanomaterial Cu di sini menggunakan ukuran 20 nm dan memiliki beberapa fraksi yaitu 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2% Cu. Hasil setelah penelitian yaitu konduktivitas termal naik sebesar 14.0%, 23.9%, 42.5% dan 46.3% sesuai fraksi terkecil sampai terbesar. Penambahan Cu ternyata mempengaruhi pada tingkat efisien suatu PCM, ketika pengujian fraksi 1% mengalami kenaikan efisiensi sebesar 1.7%.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

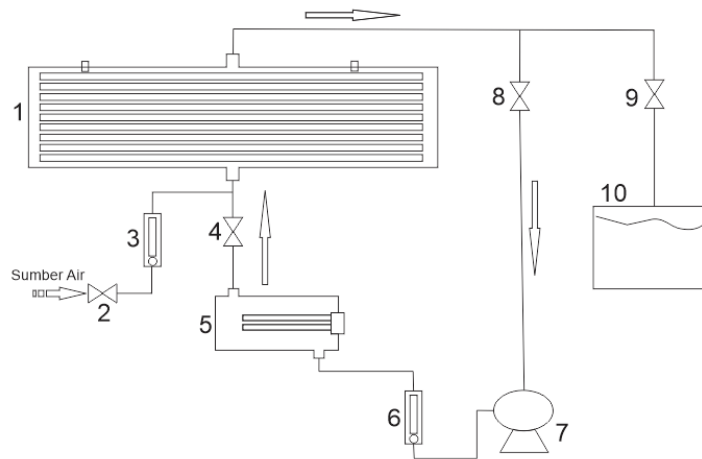
Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi debit air 600, 700, 800 dan 900 mLPM dengan voltase yang tetap. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan pada proses charging dengan cara merekam suhu setiap 5 detik sekali pada termokpel yang sudah terpasang ditangki maupun di parameter yang akan dicatat suhunya. Proses *charging* akan terus berlangsung hingga suhu pada outlet mencapai 70°C.



Gambar 3 Tangki TES

2.1 Skema Penelitian

Skema alat SWH tersebut merupakan skema proses *charging*. Pertama-tama air diisikan dari sumber air ke seluruh bagian skema proses charging dengan membuka katub *discharging* A dan katub *charging*. Ketika seluruh bagian sudah penuh terisi oleh air maka katub *discharging* A akan ditutup. Pompa DC akan memompa air menuju rotameter untuk diatur debitnya dan kemudian air menuju heater. Air yang sudah dipanaskan dari heater kemudian menuju tangki sehingga terjadi proses charging. Air selanjutnya keluar menuju pompa kembali dan begitu seterusnya selama siklus charging. Proses *charging* ini akan dihentikan ketika suhu di daerah outlet tangki mencapai 70 °C



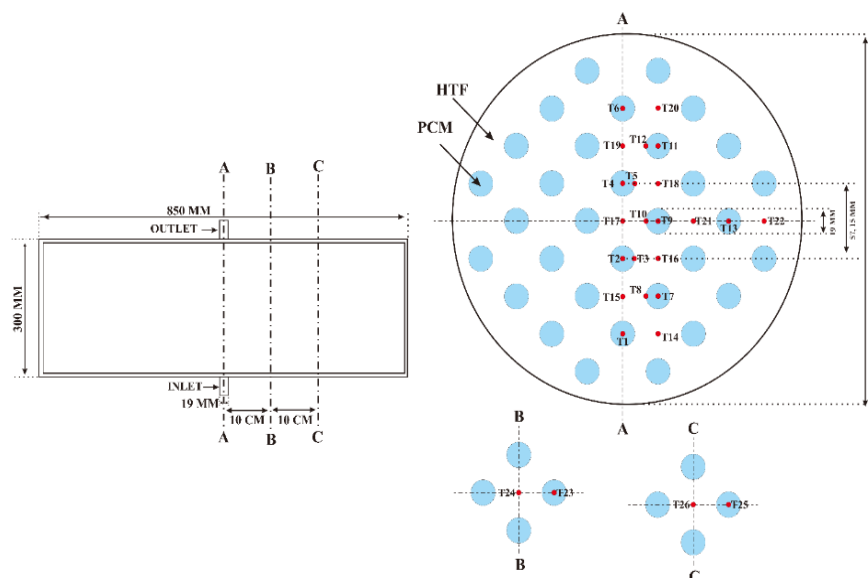
Gambar 4 Skema Proses Charging

Keterangan nomor pada Gambar 4 :

1. Tangki TES
2. Katup *Discharging* A
3. Rotameter 3 LPM
4. Katup *Charging* A
5. *Heater*
6. Rotameter 1000 mLPM
7. Pompa DC
8. Katub *Charging* B
9. Katub *Discharging* B
10. Bak Penampung

2.2 Pemasangan Termokopel

Pemasangan termokopel pada pipa tembaga dilakukan setelah pengisian *paraffin* Cu 10% selesai dengan mengebor pipa tembaga pada bagian yang sudah ditetapkan. Letak pemasangan termocouple mengikuti gambar desain penempatan *termocouple* yang ditunjukkan pada gambar 5.



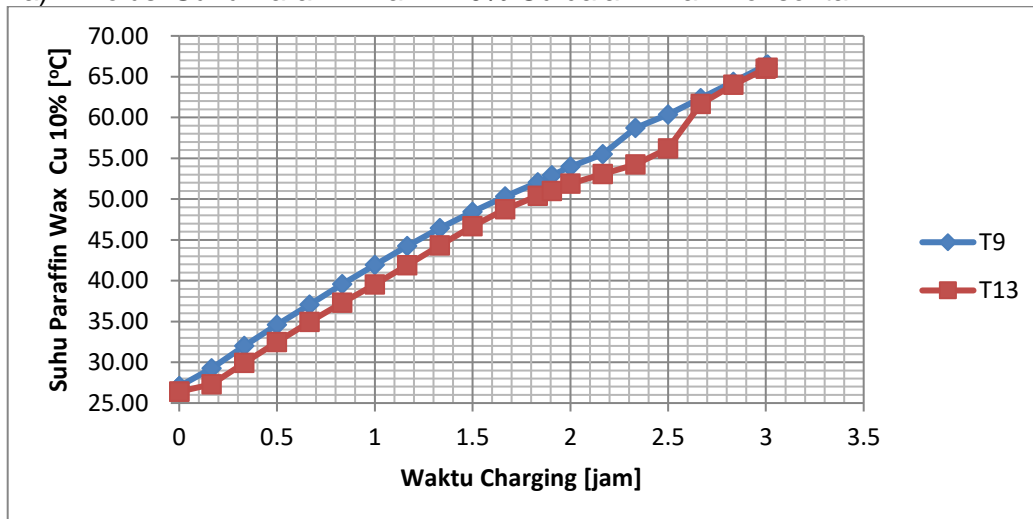
Gambar 5 Peletakan Termokopel

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Evolusi Suhu

Pengamatan perubahan temperatur pada tangki TES pada saat *charging* perlu dilakukan untuk mengetahui evolusi suhu yang diberikan oleh HTF ke PCM. Pengamatan dilakukan di 26 titik termokopel yang tersebar dalam tangki TES

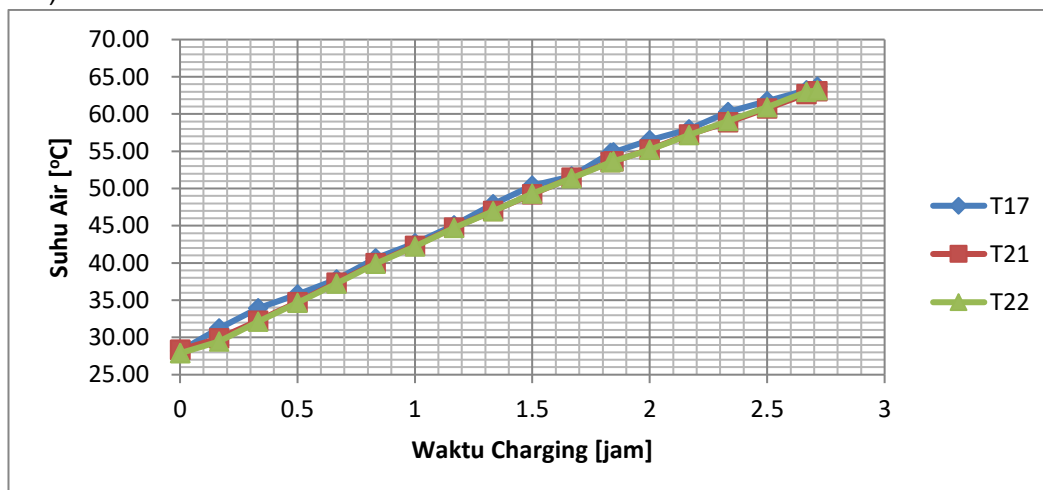
a) Evolusi Suhu Paraffin Wax + 10% Cu dalam Arah Horisontal



Gambar 6 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horisontal

Dari grafik evolusi suhu yang bisa dilihat pada gambar 6 bisa diketahui bahwa dari awal proses charging, termokopel T9 lebih tinggi data suhunya dibandingkan dengan T13. Hal ini dimungkinkan karena posisi termokopel T9 yang lebih ketengah dibandingkan dengan T13. Posisi termokopel yang dekat dengan posisi keluar air masuk membuat suhu yang diterima lebih tinggi. Perbedaan jelas lebih terlihat ketika suhu charging sudah melewati *melting point* dan kembali menyatu setelah suhu di sekitar 60°C.

b) Evolusi Suhu Air dalam Arah Horisontal.



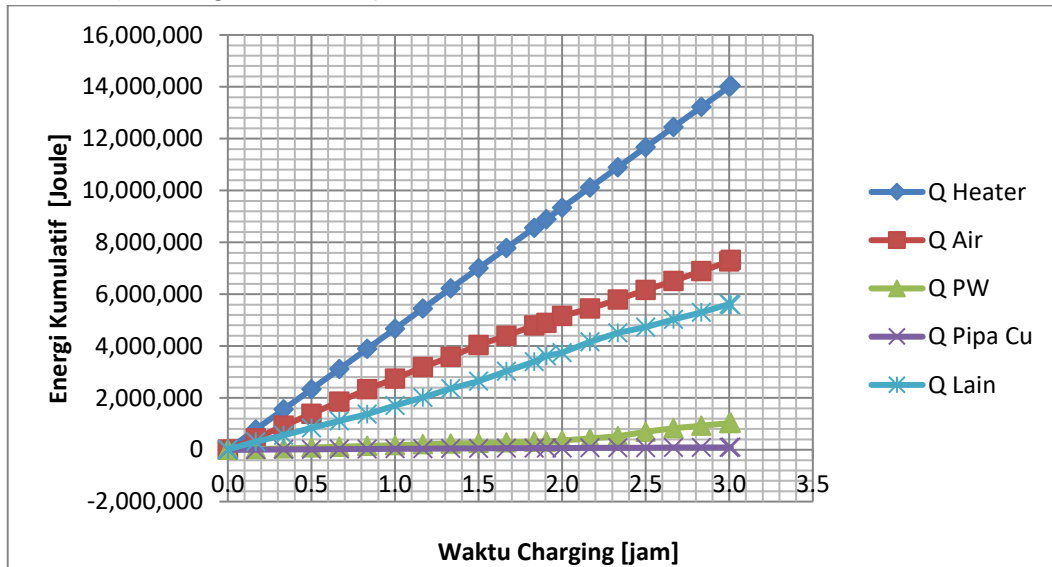
Gambar 7 Evolusi Suhu Air dalam Horisontal

Hasil dari grafik evolusi suhu air segmen horisontal seperti yang ditunjukkan oleh gambar 7 menunjukkan bahwa kenaikan pada suhu air cenderung konstan dan linier, namun pada waktu tertentu suhu pada termokopel T17 mengalami fluktuasi. Hal ini terjadi akibat termokopel T17 lebih dekat dengan sumber air dari pada termokopel T21 dan T22. Sumber air yang keluar dari heater ini membuat fluktuasi suhu pada termokopel T17.

3.2 Energi Kumulatif

Hasil Energi kumulatif yang dihasilkan selama proses charging perlu untuk diamatati agar mampu menentukan performa serta pengaruh dari heater sebagai pemanas; air sebagai *heat transfer fluid* (HTF); Paraffin-Cu sebagai *phase change material* (PCM).

a) Energi Kumulatif pada variasi 700 mLPM



Gambar 8. Energi Kumulatif pada variasi 700 mLPM

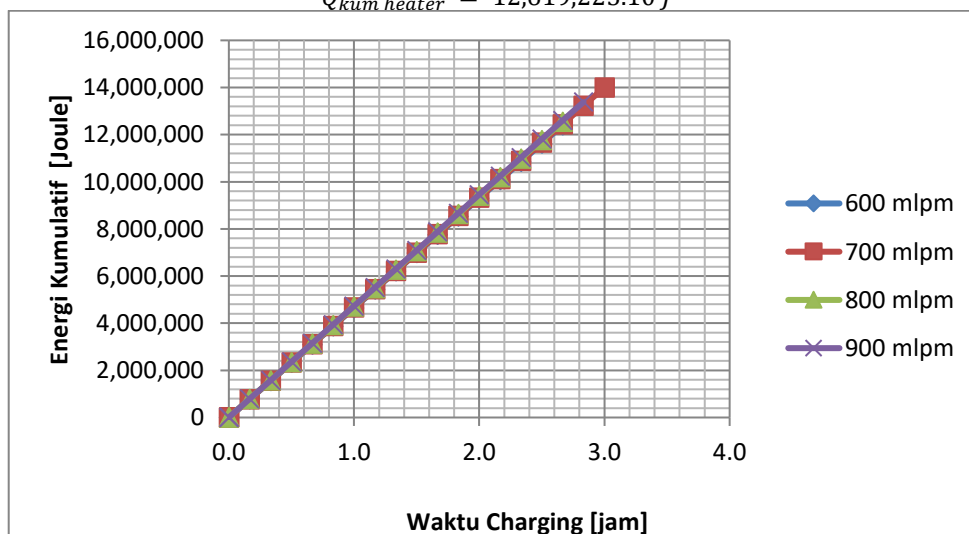
Grafik energi kumulatif pada gambar 8 menunjukkan kemiripan pola disetiap variasi dimana Q Heater mempunyai energi paling tinggi, kemudian disusul oleh Q air, Qlain, Q Paraffin-Cu, Q pipa Cu. Perbedaan yang cukup signifikan ini terjadi karena prosentase volume yang berbeda diluar heater yang menghasilkan energi sendiri. Prosentase volume air 87% sedangkan prosentase paraffin Cu 8%. Perbedaan waktu lamanya pengujian juga mempunyai pengaruh terhadap jumlah energi kumulatif yang didapat.

b) Energi Kumulatif Q heater

$$Q_{kum\ heater} = Q_{kumulatif\ heater} + Q_{heater\ sesaat} \quad (1)$$

$$Q_{kum\ heater} = 14,039,042.00 + 6458.15$$

$$Q_{kum\ heater} = 12,619,225.10\ J$$



Gambar 9 Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Tabel 1 Data Energi Kumulatif Q Heater

Debit	Q heater sesaat	Q heater kumulatif
mLPM	Joule	Joule
600	6,458.15	12,619,225.10
700	6,480.85	14,044,001.95
800	6,537.60	13,101,350.40
900	6,560.30	14,039,042.00

Grafik gambar 9 menunjukkan bahwa heater mampu menghasilkan energi secara konstan pada setiap variasi ditandai dengan trend lurus bersamaan dengan laju waktu. Perbedaan dari garis energi kumulatif tersebut adalah panjangnya. Panjang dari garis tersebut menunjukkan seberapa besar energi tersebut terkumpul. Berdasarkan grafik diatas energi paling banyak terdapat oleh variasi 700 disusul oleh variasi 900, 800 kemudian 600 mLPM.

c) Energi Kumulatif Air

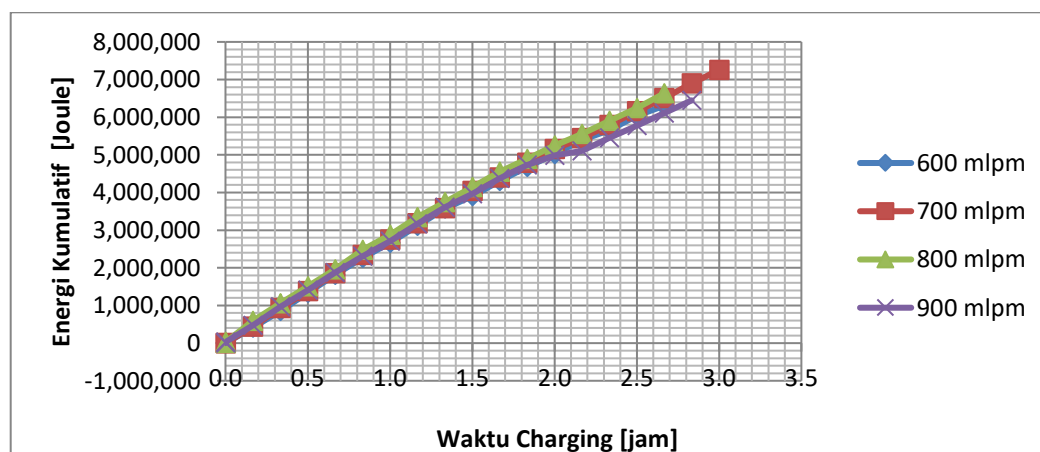
$$Q_{kum\ air} = massa\ air * Cp\ Air * (\Delta T) \quad (2)$$

$$Q_{kum\ air} = 43.13 * 4180 * (63.44 - 28.26)$$

$$Q_{kum\ air} = 6,341,744.14\ J$$

Tabel 2 Data Energi Kumulatif Q Air

Debit	Cp air	Massa Air	ΔT	Q kum Air
mLPM	[J/(kg.K)]	[kg]	$^{\circ}C$	(J)
600	4180	4180	35.18	6,341,744.14
700	4180	43.13	40.64	7,326,287.75
800	4180	4180	38.22	6,891,512.37
900	4180	4180	39.66	7,149,182.09



Gambar 10 Energi Kumulatif Air

Grafik gambar 10 menunjukkan bahwa memasuki waktu 2 jam pengambilan data terjadi sedikit pembengkokan kearah bawah. Pembengkokan ke bawah tersebut berarti penurunan dari energi yang didapat. Peristiwa tersebut terjadi karena pada jam-jam tersebut PCM paraffin-Cu sudah mulai berubah fasa dan mengambil energi dari air untuk dapat disimpan oleh PCM.

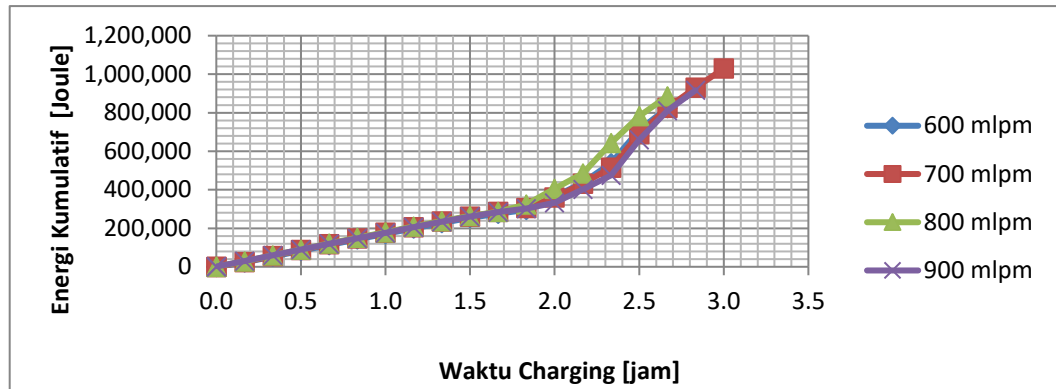
d) Energi Kumulatif Q paraffin Wax + Cu 10%

$$Q_{kum, sen} = \left(\frac{\text{Kalor Lebur} * \text{massa PCM} * \Delta T}{(\text{star} - \text{end})} \right) + Q \text{ kum sebelumnya} \quad (3)$$

$$Q_{kum, sen} = \left(\frac{127.66 * 6.7 * 0.02}{(69.32 - 52.19)} \right) + 834,840.18$$

Tabel 3. Data Energi Kumulatif Q Paraffin-Cu

Debit	Cp Paraffin-Cu	Massa Paraffin-Cu	ΔT	Q kum Paraffin-Cu
mLPM	[J/(kg.K)]	[kg]	°C	(J)
600	1839	6.7	0.02	835,834.18
700	1839	6.7	0.02	1,035,990.21
800	1839	6.7	0.02	959,890.75
900	1839	6.7	0.04	1,001,077.45



Gambar 11 Energi Kumulatif Paraffin-Cu

Grafik gambar 11 menunjukkan bahwa memasuki waktu 2 jam pengambilan data terjadi pembengkokan kearah atas yang cukup signifikan. Pembengkokan keatas tersebut menunjuka fenomena kenaikan energi yang didapat. Peristiwa tersebut terjadi karena pada jam-jam tersebut PCM paraffin-Cu sudah mulai berubah fasa dan mengambil energi dari air untuk dapat disimpan oleh PCM.

3.3 Laju Penyerapan Paraffin-Cu

a) Laju Penyerapan Paraffin-Cu Sensibel

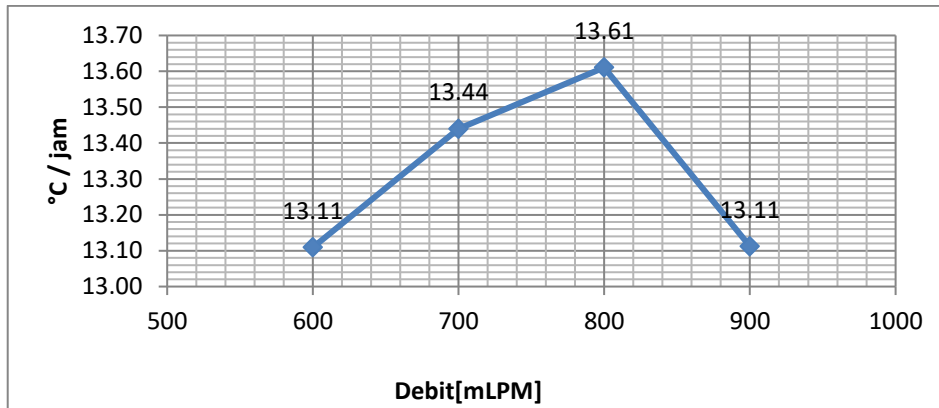
$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{Q \text{ Kumulatif (J)}}{\text{Waktu Total (s)}} \quad (4)$$

$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{297759.27}{6640}$$

$$\text{Laju Penyerapan} = 44.84 \text{ J/s}$$

Tabel 4 Data Laju Penyerapan Paraffin-Cu Sensibel

Debit	Qkumulatif	Waktu Total	Laju Penyerapan
mLPM	J	s	J/s
600	297,759.27	6640	44.84
700	315,148.49	6855	45.97
800	298,206.15	6405	46.56
900	316,895.20	7065	44.85



Gambar 12 Laju Kenaikan Paraffin-Cu Sensibel

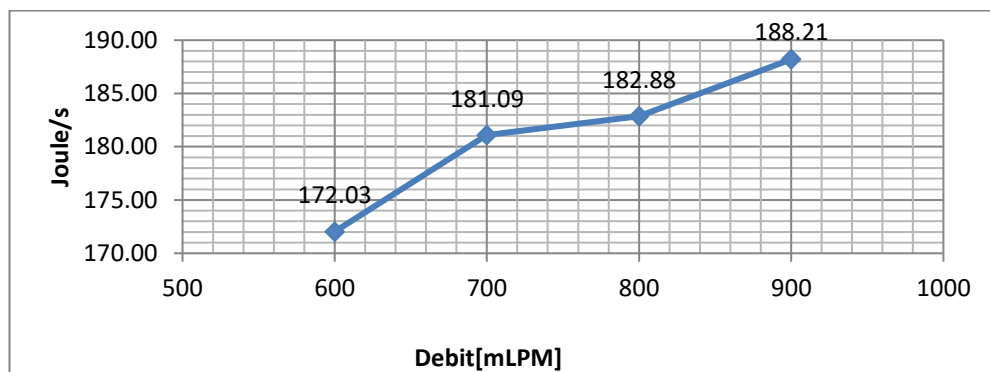
Grafik pada gambar 12 menunjukkan laju penyerapan oleh paraffin-Cu selama proses *charging*. Kata sensibel yang dimaksud adalah ketika paraffin-Cu belum mencapai titik lelehnya sehingga masih dalam keadaan padat. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa laju penyerapan campuran mengalami kenaikan jika dinaikan debitnya. Energi paling tinggi didapat oleh debit 800 dengan total energi 46.56 joule/s. Namun pada debit 900 terjadi penurunan yang cukup signifikan hal ini disebabkan terlalu lamanya campuran paraffin-Cu untuk mencapai suhu lelehnya dikarenakan laju penyerapan yang lambat. mengakibatkan Sehingga dalam perhitungan nilai pembagiannya akan besar (waktu total). Selain itu terjadi akibat faktor keterlambatan pengkoreksian rotameter yang mengakibatkan debit sempat turun pada awal-awal yaitu kondisi sensibel pada variasi debit 900 mLPM

b) Laju Penyerapan Paraffin-Cu Laten

$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{\Delta Q \text{ Kumulatif (J)}}{\Delta \text{Waktu (s)}} \quad (5)$$

$$\text{Laju Penyerapan} = \frac{537,598.63}{3125}$$

$$\text{Laju Penyerapan} = 172.03 \text{ J/s}$$



Gambar 13 Laju Penyerapan

Tabel 5 Data Laju Penyerapan Paraffin-Cu Laten

Debit mLPM	$\Delta Q_{\text{kumulatif}}$ J	ΔWaktu s	Laju Penyerapan J/s
600	537,598.63	3125	172.03
700	719,842,63	3975	181.09
800	660,199.99	3610	182.88
900	683,186.66	3630	188.21

Grafik laju penyerapan yang bisa dilihat pada gambar 13 menunjukkan trend yang terus naik dari debit kecil ke debit besar. Debit 600 mendapat nilai laju penyerapan paraffin-Cu sebesar 172.03 joule/s dan terus meningkat pada variasi debit lainnya yang pada puncaknya debit 900 mendapat nilai 188.21 joule/s. Peningkatan yang signifikan terjadi pada debit 600 ke 700 dan 800 ke 900. Peristiwa tersebut berkaitan dengan jumlah grafik sebelumnya yaitu penyerapan paraffin-Cu sensibel. Kemungkinan jika energi sensibel besar maka laten kecil begitu pula sebaliknya.

3.4 Laju Kenaikan Paraffin-Cu

a) Laju Kenaikan Paraffin-Cu Sensibel

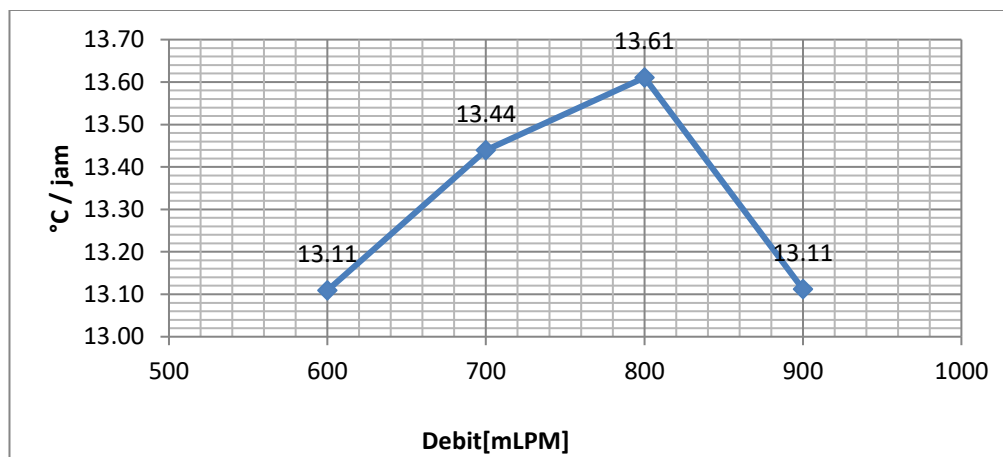
$$\text{Laju Kenaikan} = \frac{\Delta \text{temperatur } (^\circ\text{C})}{\Delta \text{Waktu (jam)}} \quad (6)$$

$$\text{Laju Kenaikan} = \frac{(52.18 - 28)}{(1.84 - 0)}$$

$$\text{Laju Kenaikan} = 13.11 \text{ } ^\circ\text{C/jam}$$

Tabel 6 Data Laju Kenaikan Paraffin-Cu Sensibel

Debit	Δ Temperatur	Δ Waktu	Laju Kenaikan
mLPM	$^\circ\text{C}$	jam	C/jam
600	24.18	1.84	13.11
700	28.59	1.9	13.44
800	24.22	1.78	13.61
900	25.73	1.96	13.11



Gambar 14 Laju Kenaikan Paraffin-Cu Sensibel

Hasil *trendline* dari grafik pada gambar 14 hampir sama dengan grafik laju penyerapan paraffin-Cu sensibel. Hal ini karena kedua grafik tersebut saling berkaitan, dimana grafik ini didapat dengan cara mengurangi suhu campuran ketika masih dalam keadaan sensibel dengan suhu awal. Maka jika laju penyerapan kecil laju kenaikanpun juga kecil. Sehingga didapatkan hasil yang sama.

b) Laju Kenaikan Paraffin-Cu Laten

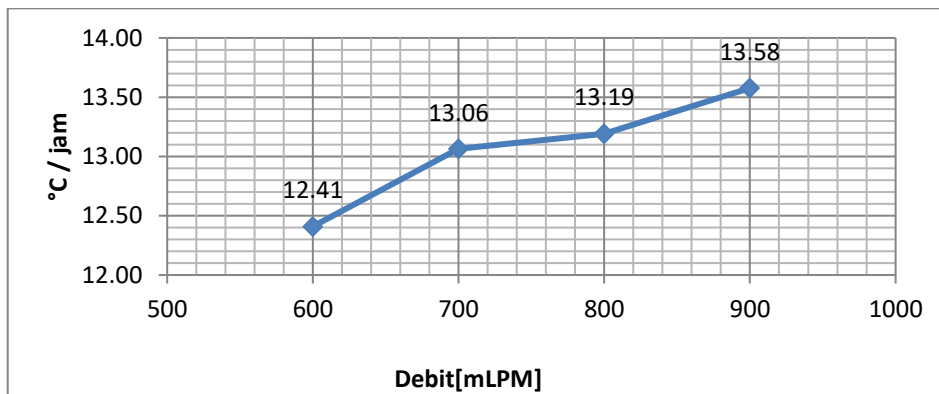
$$\text{Laju Kenaikan} = \frac{\Delta \text{temperatur } (^\circ\text{C})}{\Delta \text{waktu (jam)}} \quad (7)$$

$$\text{Laju Kenaikan} = \frac{(62.96 - 52.19)}{(2.714 - 1.846)}$$

$$\text{Laju Kenaikan} = 12.41 \text{ } ^\circ\text{C/jam}$$

Tabel 7 Data Laju Kenaikan Paraffin-Cu Laten

Debit	Δ Temperatur	Δ Waktu	Laju Kenaikan
mLPM	$^\circ\text{C}$	jam	C/jam
600	10.77	0.868	13.11
700	14.42	1.104	13.06
800	13.23	1.003	13.19
900	13.69	1.008	13.58



Gambar 15 Grafik Laju Kenaikan Paraffin-Cu Sensibel

Hasil *trendline* dari grafik pada gambar 15 hampir sama dengan grafik laju penyerapan paraffin-Cu laten. Hal ini karena kedua grafik tersebut saling berkaitan, dimana grafik ini didapat dengan cara mengurangi suhu campuran akhir yang dalam keadaan laten dengan suhu awal mulai menjadi kalor laten. Maka jika laju penyerapan kecil laju kenaikan pun juga kecil. Sehingga didapatkan hasil yang sama.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari pembahasan tentang evolusi suhu, energi kumulatif, laju penyerapan paraffin-Cu dan laju kenaikan paraffin-Cu dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Nilai evolusi suhu pada paraffin-Cu sangat dipengaruhi oleh perubahan fasa yang terjadi pada PCM. Pada saat PCM mencapai suhu lelehnya (start) grafik akan mengalami fluktuasi dan akan kembali normal ketika sesaat setelah mencapai peak disekitar suhu 61.52 $^\circ\text{C}$.
2. Nilai evolusi suhu oleh air tidak terlalu terlihat perbedaan yang signifikan terjadi. Faktor peletakan termokopel mempengaruhi pengukuran suhu, bisa dilihat pada segmen vertikal dan horizontal. Namun, pengaruh yang ditimbulkan tidak terlalu signifikan
3. Energi kumulatif yang didapat dipengaruhi oleh prosentase volume, waktu pengambilan data, serta perubahan fase pada PCM.

4. Laju penyerapan dan kenaikan paraffin-Cu sensibel terbaik didapat oleh variasi debit 800 mLPM dengan nilai laju penyerapan 46.56 Joule/s dan nilai laju kenaikan 13.61 °C/jam. Sedangkan nilai laju kenaikan paraffin-Cu laten terbaik didapat oleh variasi debit 900 mLPM dengan nilai laju penyerapan 188.21 Joule/s dan nilai laju kenaikan 13.58 °C/jam.
5. Laju Penyerapan Air didapat oleh debit 800 mLPM dengan nilai 687.78 joule/s dan Laju Kenaikan Air didapat oleh debit 800 mLPM dengan nilai 13.73 °C/Jam.
6. Grafik penyerapan dan kenaikan mempunyai keterkaitan baik pada paraffin-Cu atau pada air.

REFERENCES

Journal:

- [1] Choi, S. U., & Eastman, J. A. (1995). Enhancing Thermal Conductivity of fluids with nanoparticles. 1-8.
- [2] Ginting, & Saferi, E. (2018). Study Experimental Optimasi Pemanas Air Tenaga Surya Menggunakan Refrigeran R-718 untuk Memanaskan 120 Liter Air. Skripsi Sarjana, 1.
- [3] Hasenohrl, T. (2009). An Intriduction to Phase Change as Heat Storage Mediums. Heat and Mass Transport, 1-5.
- [4] Jufrizal, Napitupulu, F. H., & Ambarita, H. (2014). Studi Ekpermental Performasi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar dengan Penambahan Thermal Energy Storage. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder, 28.
- [5] Lefebvre, D., & Tezel, F. H. (2017). A review of energy storage technologies with a focus on adsorption thermal energy storage processes for heating applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 116-123.
- [6] Lin, S. C., & Al Kayiem, H. H. (2016). Evaluation of Copper Nanoparticles - Paraffin Wax Compositions for Solar Thermal Energy Storage. Elsevier, 267-278.
- [7] Medved, D., Kvakosvsky, M., & Sklenarova, V. (2010). Latent Heat Storage Systems. Renewable Enery Souces, 1-4.
- [8] Nadjib, M. (2016). Penggunaan Paraffin Wax Sebagai Penyimpan Kalor pada Pemanas Air Tenaga Matahari Thermosyphon. ROTASI, 76-85.
- [9] Regin, A. F., Solanki, S., & Saini, J. (2007). Heat Transfer Characteristic of Thermal Energy Storage System Using PCM capsules : A Review. Science Direct, 2438-2458.
- [10] Schukina, E., Graham, M., Zheng, Z., & Schunkin, D. (2018). Nanoencapsulation of Phase Change Materials for Advanced Thermal Energy Storage Systems. Royal Society of Chemistry, 4156-4175.
- [11] SOCACIU, L. G. (2012). Thermal Energy Storage with Phase Change Material. Leonardo Electronic Journal of Pratices and Technologies, 75-98.
- [12] Suhanan, nadjib, m., Ansyah, P. R., & Anggara, F. (2017). Simulasi Numerik Proses Pelelehan Paraffin Wax Pada Unit Penyimpanan Energi Thermal Tiper Pipa Ganda Kosentrik. ROTASI, 36.
- [13] Xuan, Y., & Li, Q. (1999). Heat transfer echancement of nanofluids. ELSEVIER, 58-64

Proceeding:

- [1] Nadjib, M., & Suhanan. (2014). Kajian Perpindahan Kalor Pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Menggunakan Kapsul PCM Pipa-Banyak susunan segaris. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII) (p. 430). Depok: ISBN.

- [2] Nadjib, M., Sukamta, Caroko, N., & A.S., T. H. (2015). Studi Ekperimental Penyimpanan Energi pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya yang Berisi PCM. Procceding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV). Banjarmasin.
- [3] Techarungpaisan, P., Buddadee, B., & Kumar, S. (2005). Investigation of Water Flow Rate in a Thermosyphon Solar Water Heater. The 19th Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, (pp. 1-6). Songkla.