

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Perancangan Dan Pembuatan Tangki *Thermal Energy Storage* Pada Alat Uji Simulasi Pemanas Air Tenaga Surya

Judul Naskah Publikasi: Perancangan Dan Pembuatan Tangki *Thermal Energy Storage* Pada Alat Uji Simulasi Pemanas Air Tenaga Surya

Nama Mahasiswa: Muhammad Avita Roisy Shofa

NIM: 2015130012

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
Muhammad Avita Roisy Shofa

26 - 09 - 2019

Tanggal

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

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

26-09-2019

Tanggal

Tanda Tangan
Berli Paripuma Kamiel, S.T., M.Sc, Ph.D

Tanggal 26-9/2019

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

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN TANGKI *THERMAL ENERGY STORAGE* PADA ALAT UJI SIMULASI PEMANAS AIR ENERGI SURYA

Muhammad Avita Roisy Shofa^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
[aavitchb@gmail.com](mailto:avitchb@gmail.com), [btitohas@yahoo.com](mailto:titohas@yahoo.com), [cnurcahyadi@gmail.com](mailto:nurcahyadi@gmail.com)

INTISARI

Solar Water Heater (SWH) merupakan pemanas air tenaga surya dengan memanfaatkan energi matahari. *Solar Water Heater* (SWH) memiliki media penyimpanan berupa air yang memiliki densitas energi yang rendah yang mengakibatkan kebutuhan volume tangki TES (*thermal energy storage*) yang besar. Di sisi lain PCM (*phase change material*) memiliki nilai densitas energi yang tinggi serta memiliki sifat termal yang baik. Berdasarkan sifat PCM tersebut diperlukan studi eksperimental pemakaian *paraffin wax* pada sistem *Solar Water Heater* (SWH). Tujuan penelitian ini melakukan perancangan alat uji serta mengetahui hasil proses *charging* dan *discharging* untuk mengetahui penyimpanan energi termal pada perancangan tangki TES.

Perancangan dan pembuatan tangki TES diawali dengan menentukan intensitas cahaya matahari, debit *thermosyphon*, susunan pipa *stagger* dengan sudut 45° dan *tube pitch*. Selanjutnya dilakukan pemilihan spesifikasi pompa, alat rotameter, daya *heater*, kapasitas tangki, jumlah kapsul yang digunakan, serta melakukan pengujian *charging* dan *discharging* pada variasi voltase dan debit yang diberikan sehingga dapat diketahui evolusi suhu pada setiap penampang.

Hasil penelitian didapatkan bahwa perancangan tangki TES memiliki perangkat pendukung saat pengujian seperti pompa DC 12 Volt, rotameter *charging* 1000 mLPM sedangkan *discharging* 3 LPM, daya *heater* sebesar 1500 Watt dengan menggunakan *immersion heater*, kapasitas tangki 60 liter, jumlah pipa kapsul 32, serta hasil *charging* variasi 227 Volt dan *discharging* 2,5 LPM memiliki hasil terbaik pada arah vertikal dengan penurunan suhu yang beraturan.

Kata kunci : *Solar Water Heater* (SWH), TES, *charging*, *discharging*.

ABSTRACT

Solar Water Heater (SWH) is a solar water heater utilizing solar energy. *Solar Water Heater* (SWH) has a storage medium in the form of water that has a low energy density that happens in the need for a large volume of TES (*thermal energy storage*) tank. On the other hand, PCM (*phase change material*) has a high energy density value and has good thermal properties. Based on the characteristics of the PCM, an experimental study of *paraffin wax* on a *Solar Water Heater* (SWH) system is needed. The goal of this study is to design test equipment and determine the results of the charging and discharging process to determine thermal energy storage in the design of the TES tank.

the design and manufacture of TES tanks begins with determining the intensity of sunlight, *thermosyphon* discharge, *stagger* pipe arrangement with a 45° angle and *tube pitch*. Furthermore, the selection of pump specifications, rotameter devices, heater power, tank capacity, number of capsules used, and charging and discharging tests on the voltage and discharge variations are given so that the temperature evolution can be seen at each cross-section.

The effects showed that the design of the TES tank has supporting devices when testing such as a 12 volt DC pump, rotameter *charging* 1000 mLPM while *discharging* 3 LPM, heater power of 1500 Watts using immersion heaters, 60 liter tank capacity, 32 capsule pipes, and the results of charging variation of 227 Volts and 2.5 LPM *discharging* has the best results in the vertical direction with a regular temperature drop.

Keywords: *Solar Water Heater* (SWH), TES, *charging*, *discharging*.

1. Pendahuluan

Saat ini sebagian manusia masih menggunakan sumber energi fosil. Energi ini terbatas ketersediaannya di bumi. Dalam jangka panjang penggunaan energi memerlukan pengolahan dan pengaturan yang lebih baik dan terencana, agar kebutuhan energi tetap terpenuhi. Seiring dengan kebutuhan energi yang terus meningkat maka penggunaan minyak bumi harus dioptimalkan. Selain itu, perlu dioptimalkan pemakaian energi terbarukan untuk mensubstitusi minyak bumi.

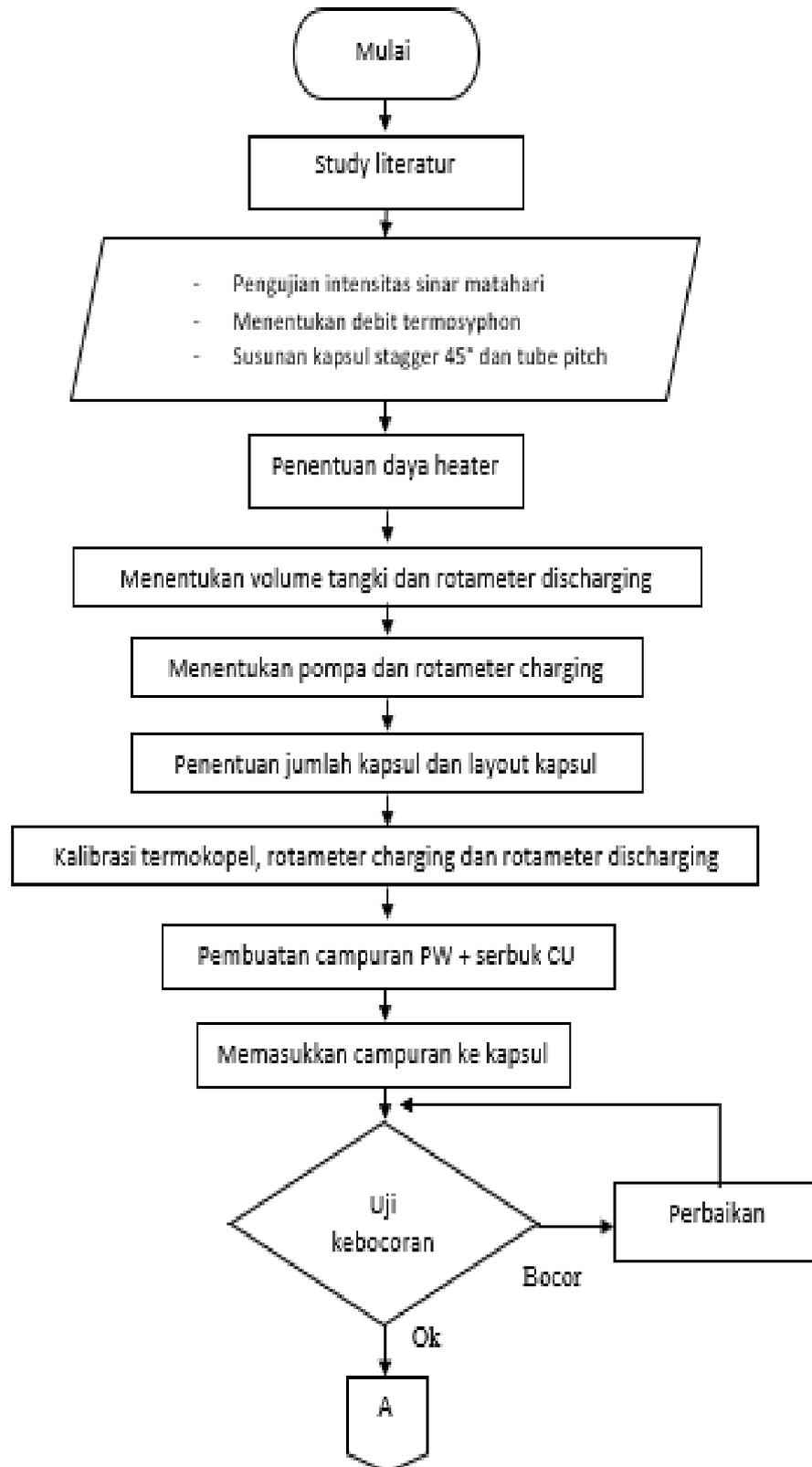
Salah satu bentuk energi terbarukan adalah energi matahari. Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata – rata 4,5 sampai 4,8 kWh/m² / hari (Yuliananda dkk, 2016). Energi matahari dapat dimanfaatkan baik dari sisi listrik maupun termal. Sel surya adalah alat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Contoh penggunaan sel surya pada kehidupan sehari-hari antara lain untuk penerangan jalan, pompa air dan lain-lain. Bentuk pemanfaatan dari energi matahari selain solar sel adalah *solar water heater* PATS (pemanas air tenaga surya) (Zainuddin, 2014).

Penggunaan air pada PATS konvensional adalah metode yang dapat diandalkan karena harganya murah dan mempunyai sifat perpindahan kalor yang baik. Namun begitu, pemakaian air pada PATS mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya adalah densitas energinya rendah dan pelepasan energinya terjadi pada kisaran temperatur yang luas (Hasan dkk, 2011). Rendahnya densitas air mengakibatkan kebutuhan volume TES yang besar untuk dapat menampung energi termal yang banyak PCM adalah jenis penyimpan kalor laten yang telah dikembangkan sebagai material TES pada sistem pemanasan (Zalba dkk, 2003). *Paraffin wax* merupakan salah satu PCM yang memiliki sifat antara lain: densitas energinya cukup tinggi (~ 200 kJ/kg) dan Sagara, 2005) dan temperatur leleh beberapa produk *paraffin wax* bervariasi antara 8 sampai 106°C (Kenisarin dan Mahkamov, 2007).

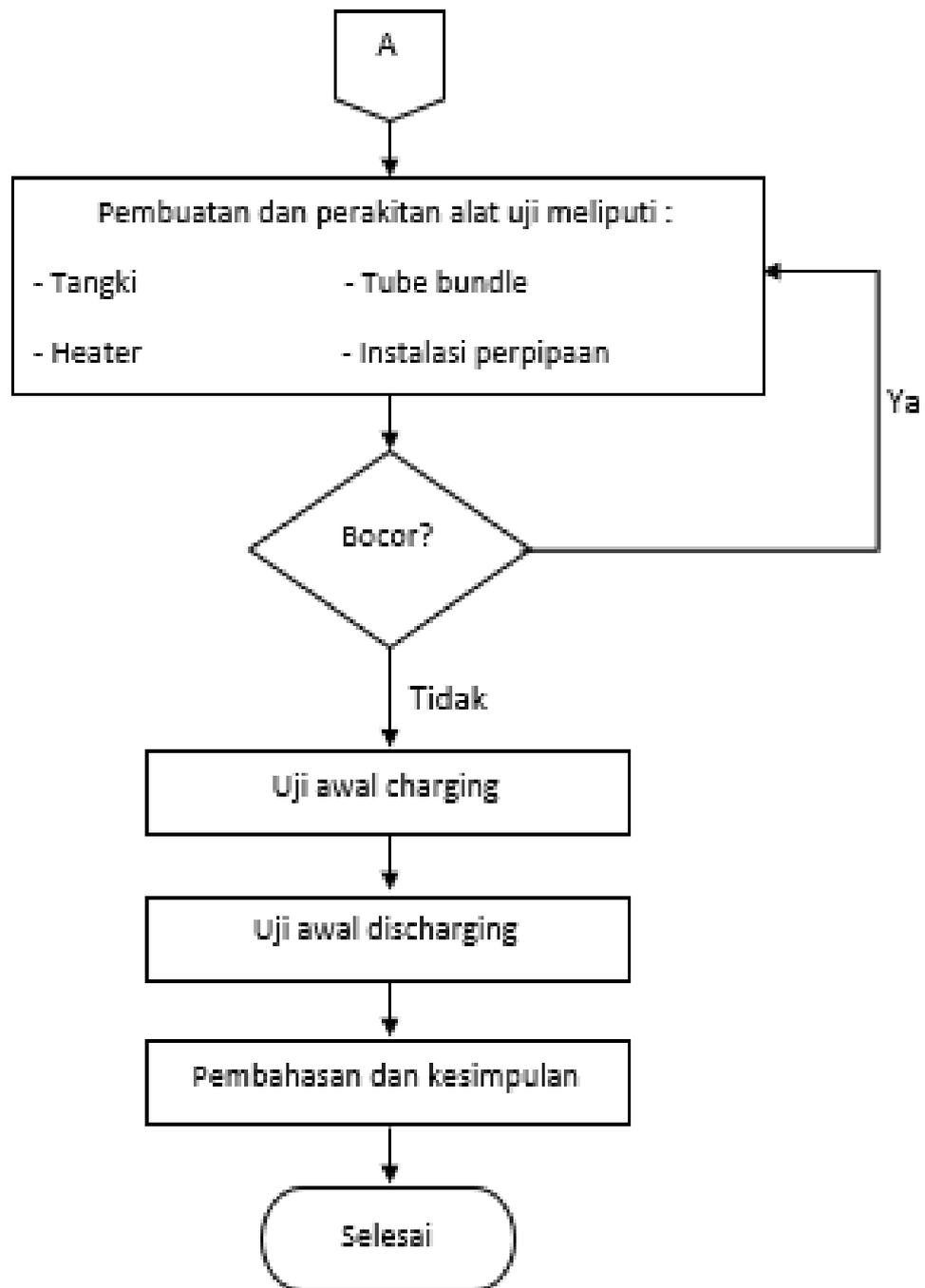
Berdasarkan sifat tersebut, *paraffin wax* menarik untuk diaplikasikan sistem PATS. Untuk itu perlu dilakukan studi eksperimental pemakaian *paraffin wax* pada sistem PATS. Penelitian ini bertujuan melakukan investigasi kemampuan penyimpanan energi termal tangki PATS yang menggunakan air dan *paraffin wax* sebagai penyimpan energi termal.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tersebut maka dibutuhkan penelitian lebih lanjut dengan pengujian awal alat uji penelitian.

2. Metode Penelitian



Gambar 1 Diagram alir



Gambar 2 Diagram alir (lanjutan)

2.1 Alat Perancangan

Perancangan tangki pemanas air tenaga surya kapasitas 60 Liter menggunakan leptop untuk mempermudah proses pembuatan desain. Leptop yang digunakan memiliki spesifikas seperti pada Tabel 3.1 dan ditunjukkan pada gambar 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Perangkat Laptop

No.	Jenis hardware	Perangkat komputer
1	<i>Processor</i>	Intel Core i5-8250U 3.4Ghz
2	<i>Motherboard</i>	Asus
3	<i>RAM</i>	4 GB DDR 4
4	<i>Graphic Card</i>	NVIDIA GEFORCE 930MX
5	<i>Storage</i>	1TB SATA HDD 5400RPM



Gambar 3 Laptop HP

2.2 Applent Temperature Data Logger AT 4532

Applent Temperature Data Logger AT 4532 berfungsi untuk membaca output suhu yang terbaca oleh termokopel pada kapsul PCM didalam tangka. Pipa pvc, dinding tangki bagian luar (*heatloss*) dan bak air. Bentuk dari data logger tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2 serta adapun beberapa rincian spesifikasi dari *Applent Temperature Data Logger AT 4532*.



Gambar 4 Data Logger AT 4532.

2.3 DC Power Supply

DC Power Supply digunakan untuk mengatur daya pompa air. Power Supply diatur sesuai dengan aliran debit yang dilakukan pada pengujian, dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 5 DC power supply

2.4 Voltage Regulator

Voltage Regulator digunakan untuk mengatur voltase yang masuk ke dalam tabung heater sehingga menghasilkan panas yang diharapkan. Spesifikasi dari voltage regulator dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan gambar dapat dilihat di Gambar 3.4.



Gambar 6 Voltage Regulator

2.5 Multimeter

Multimeter berfungsi untuk membaca voltase yang dikeluarkan oleh voltage regulator. *Setting volt* pada penelitian ini yaitu 190,61; 201,34; 220,78; 227,42 V.



Gambar 7 Multimeter

2.6 Amperemeter

Amperemeter memiliki fungsi sebagai alat pengukur arus yang dikeluarkan dari voltase regulator.



Gambar 8 Amperemeter

2.7 Pompa DC 12 Volt

Pompa DC 12 V berfungsi untuk memompa air saat proses charging sedang berlangsung.



Gambar 9 Pompa DC 12 V

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengukuran Intensitas Sinar Matahari

Perancangan pembangkit listrik tenaga surya disuatu lokasi sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, sebab variabel tersebut memiliki pengaruh terhadap daya keluaran yang dihasilkan panel surya. Data ini umumnya didapatkan dari lembaga pemerintah seperti BMKG atau NASA, namun data tersebut hanya tersedia untuk wilayah tertentu saja. Pengukuran radiasi matahari secara langsung perlu dilakukan untuk memenuhi kebutuhan data yang tidak tersedia. Alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari adalah solar power meter. Data ini diambil pada tanggal 25 Februari 2019 dengan posisi posisi solar power meter diarahkan ke arah matahari dengan sudut 60°.



Gambar 10 Solar Power Meter

Data Pengukuran Intensitas Cahaya Sinar Matahari

Jam pengambilan data intensitas cahaya matahari					
No	Jam	Hasil	No	Jam	Hasil (W/m ²)
1	8.45-8.50	576,7	32	11.20-11.25	875,4
2	8.50-8.55	541,6	33	11.25-11.30	210,2
3	8.55-9.00	604,8	34	11.30-11.35	205,6
4	9.00-9.05	632,1	35	11.35-11.30	129,3
5	9.05-9.10	659,6	36	11.30-11.35	218,8
6	9.10-9.15	681	37	11.35-11.40	167,5
7	9.15-9.20	309,1	38	11.45-11.50	892,3
8	9.20-9.25	727,3	39	11.50-11.55	121
9	9.25-9.30	742,2	40	11.55-12.00	940,7
10	9.30-9.35	138,2	41	12.00-12.05	200,6
11	9.35-9.40	160,4	42	12.10-12.15	583,3
12	9.40-9.45	814,4	43	12.15-12.20	668,8
13	9.45-9.50	120,7	44	12.20-12.25	725,9
14	9.50-9.55	635,8	45	12.25-12.30	916,4
15	9.55-10.00	828,1	46	12.30-12.35	950
16	10.00-10.05	495,5	47	12.35-12.40	1042,3
17	10.05-10.10	672,2	48	12.40-12.45	173,2
18	10.10-10.15	826,5	49	12.45-12.50	178,1
19	10.15-10.20	236,4	50	12.50-12.55	251,4
20	10.20-10.25	205,4	51	12.55-13.00	183,3
21	10.25-10.30	462,9	52	13.00-13.05	307,1
22	10.30-10.35	865,6	53	13.05-13.10	128,2
23	10.35-10.40	968,9	54	13.10-13.15	122,9
24	10.40-10.45	166,5	55	13.15-13.20	250,9
25	10.45-10.50	480,8	56	13.20-13.25	901,6
26	10.50-10.55	807,3	57	13.25-13.30	422,7
27	10.55-11.00	995,4	58	13.30-13.35	950,5
28	11.00-11.05	185,6	59	14.00-14.05	989,1
29	11.05-11.10	1045,4	60	14.05-14.10	673
30	11.10-11.15	1200	61	14.10-14.10	528,4
31	11.15-11.20	233	62	14.15-14.20	309
Rata – Rata					581,271

Data pengukuran intensitas cahaya matahari dengan alat solar power meter dengan rata rata yang dihasilkan dalam jangka 1 hari dimulai dari jam 08.45 WIB sampai jam 14.20 WIB.7 jam yaitu dari intensitas cahaya sinar matahari yang paling bagus pada jam 08.00 WIB sampai jam 15.00 WIB

$$\begin{aligned} \text{data } I_{\text{rata-rata}} &= 581 \frac{W}{m^2} \\ \text{Asumsi : } \Delta t &= 7 \text{ jam} \times \frac{3600 \text{ dt}}{1 \text{ jam}} = 25.200 \text{ dt} \\ \text{Efisiensi Solar collector} &= \eta_{\text{Solar Collector}} = 20 \% \\ \text{Luas solar collector} &= 1 \text{ m}^2 \\ \text{Energi sinar matahari kumulatif dari 7 jam} & \\ &= \frac{581 J}{dt/m^2} \times 1 m^2 \times 0,2 \times 25.200 \text{ dt} \\ &= 2.928.240 \text{ J} \end{aligned}$$

Hitung Energi Pemanas Air

$$\begin{aligned} \text{Diketahui :} & \quad - T_{\text{awal air}} = 25 \text{ }^\circ\text{C} & \quad - C_p \text{ air} = 4,18 \text{ kJ/kg.k} \\ & \quad - T_{\text{akhir air}} = 35 \text{ }^\circ\text{C} & \quad - \text{Untuk } \Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C} \\ & \quad - \rho \text{ air} = 1000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$V = 60 \text{ liter} = 0,06 \text{ m}^3 \text{ (asumsi)}$$

$$m = \rho \times V = 10^3 \frac{kg}{m^3} \times 0,06 \text{ m}^3 = 60 \text{ kg}$$

$$T_{\text{awal}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{akhir}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Maka } \Delta T = T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}}$$

$$= 35 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi yang diperlukan} &= m \times C_p \text{ air} \times \Delta T \\ &= 60 \text{ kg} \times 4810 \frac{J}{kg^\circ C} \times 10^\circ\text{C} = 2.508.000 \text{ J} \end{aligned}$$

Sehingga, dengan energi kumulatif matahari rata – rata sebesar 2.928.240 J dalam 7 jam dapat memanasi air untuk volume 60 liter dari suhu awal 25° dan suhu akhir 35°.

3.2 Penentuan Daya Heater

Berdasarkan pengukuran intensitas sinar matahari paling tinggi yaitu 1200 W sehingga dipilih heater dengan jenis immersion heater (celup) seperti gambar 4.2 dengan daya 1500 W agar pemanasannya lebih maksimal dengan asumsi solar kolektor 1 m² dan $\eta_{\text{Solar Collector}}$ (efisiensi solar collector) 20%.

3.3 Menentukan Volume Tangki dan Rotameter Discharging

Menentukan Volume Tangki

Hal pertama adalah mencari banyaknya air hangat yang dibutuhkan dalam satu hari. Misal jumlah penghuni yang menggunakan air panas adalah 3 orang dan kebutuhan mandi satu orang memerlukan 20 Liter air maka:

$$- \text{Volume tangki} = 3 \text{ orang} \times 20 \text{ liter} = 60 \text{ liter}$$

Jadi ketika mandi dengan asumsi sekali mandi dengan shower kita membutuhkan air hangat sebanyak **60 liter**.

Sebagaimana diketahui bahwa ketergantungan manusia terhadap air bersih yang diperlukan orang indonesia yang tinggal diperkotaan untuk setiap orang perhari

Kebutuhan air per orang per hari (WARDHANA,1999)

KEPERLUAN	JUMLAH PEMAKAIAN (Liter)
Minum	2,0
Masak dan kebersihan dapur	14,5
Mandi, kakus	20,0
Cuci pakaian	13,0
Wudhu	15,0
Kebersihan rumah	32,0
Menyiram tanaman	11,0
Mencuci kendaraan	22,0
Lain-lain	20,0
Jumlah	150,0

3.4 Menentukan Rotameter Discharging

Kebutuhan mandi 1 orang membutuhkan 20 liter jadi untuk menghasilkan panas yang cepat dipakai 1 lpm agar air yang dihasilkan butuh waktu 20 menit dan 2 lpm menghasilkan waktu selama 10 menit. Sehingga dibutuhkan kapasitas 3 lpm.

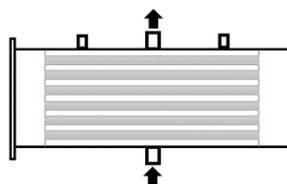
3.5 Menentukan Rotameter Charging

Pisit dkk (2005) menyatakan aliran termosypon dalam DSWH sangat rendah dengan debit 1- 25 cm³ / detik dengan kapasitas tangki 200 liter. Jika rata-rata debit sebesar 12,5 cm³ / detik dalam satuan LPM menjadi 750 mLPM sehingga di pilih rotameter dengan kapasitas 1000 mLpm

Untuk pemilihan pompa menggunakan pompa DC 12 V yang berfungsi untuk memompa air saat proses charging sedang berlangsung. Di pilih pompa DC supaya dapat diatur putarannya dan juga dapat diatur debitnya menggunakan DC power supplay.

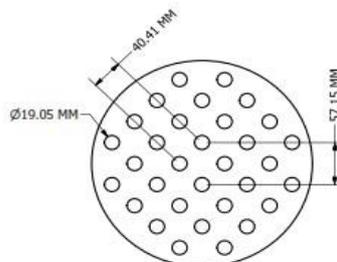
3.6 Menentukan Jumlah Kapsul di dalam Tangki

Susunan pipa kapsul yang ada di dalam tangki di buat inlet. Sehingga air masuk dari bawah supaya PCM yang ada di dalam kapsul dapat terpanasi, fungsi dari PCM tersebut yaitu di gunakan sebagai media penyimpan kalor seperti gambar 11



Gambar 11 Susunan kapsul didalam tangki

Kapsul PCM di dalam tangki dapat disusun secara *inline* atau *stagger* dengan sudut 45°. Penentuan metode penyusunan yang digunakan diharapkan mampu memaksimalkan laju perpindahan kalor yang terjadi. Dudukan ini memiliki fungsi untuk tempat meletakkan pipa tembaga (kapsul PCM) dalam tangki SWH. Dudukan berjumlah 2 buah yang berbahan aluminium dan memiliki jumlah lubang 32. Dudukan penopang pipa tembaga dapat dilihat pada Gambar 12

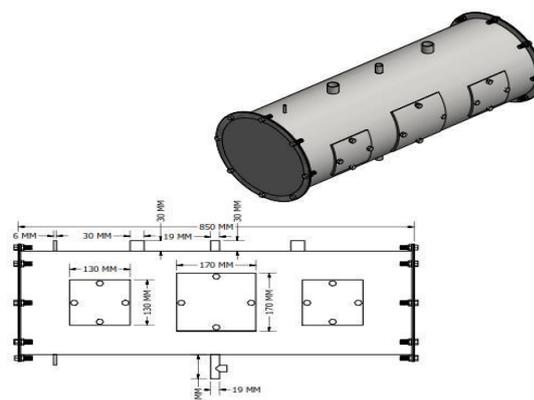


Gambar 12 Tube Sheet

4.7 Pembuatan Alat Uji

- a. Tangki utama kapasitas 60 liter

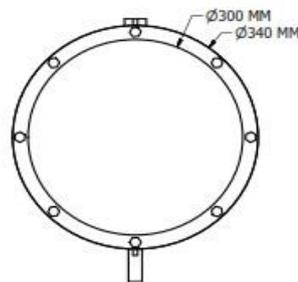
Tangki ini menggunakan bahan stanlis 304 yang masuk dalam kategori food grade merupakan stainless steel dengan komposisi 18/8 atau 18/10. Memiliki komposisi 18/8 yang artinya kandungan kromium sebesar 18% sedangkan kandungan kandungan nikel sebesar 8%. Arti code ini menunjukkan komposisi kandungan kroum dan nikel. Kandungan kromium berfungsi untuk megikat oksigen di permukaan stanless steel dengan melindungi bahan dari proses oksidasi yang dapat menimbulkan karat. Hasil perancangan desai tangki utama yang memiliki tebal plat 1,2 dengan kapasitas 60 liter. Dan fungsi dari ketiga lubang yang berbentuk persegi itu berfungsi untuk memudahkan proses pemasangan komponen yang berada di dalam tangki. Dapat di lihat dari Gambar 13



Gambar 13 Tangki utama 60 liter

b. Tutup Tangki

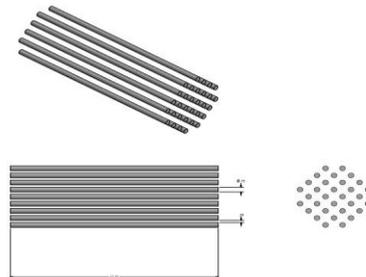
Perancangan desain pada tutup tangki dengan tebal plat 2mm.dan di desain dengan beberapa lubang baut agar bisa mempermudah pemasangan komponen yang ada dalam tangki dan untuk mencegah kebocoran di gunakan paking. Gambar sebagai mana di jelaskan pada Gambar 14



Gambar 14 Tutup Tangki

c. Kapsul PCM

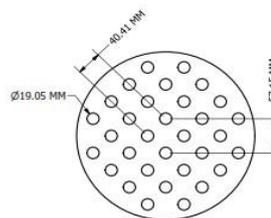
Perancangan kapsul PCM dengan tebal 1 mm mendapatkan hasil seperti gambar 15 sebagai berikut.



Gambar 15 Pipa Kapsul

d. Penyangga kapsul PCM dalam tangki

Perancangan penyangga di sesuaikan dengan kebutuhan jumlah kapsul yang akan dipasangkan ke dalam tangki. Dan hasilnya seperti **gambar 4.11** berikut



Gambar 16 Penyangga PCM dalam tangka

e. Hasil ancangan pemanas air dengan kapasitas 60 liter

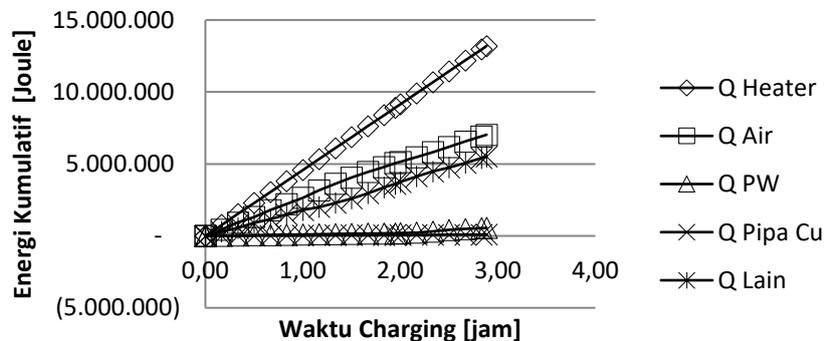
Gambar keseluruhan dari pemanas solar water heater meliputi tangki kapasitas 60 liter, kapsul kapsul di dalam tangki, heater dan kerangka di tampilkan pada **gambar 17**



Gambar 17 Hasil Perancangan

3.7 Energi kumulatif charging dengan variasi 227 Volt

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); *Parrafin Wax* sebagai *phase change material* (PCM); Pipa Cu sebagai Kapsul tempat dari PCM; Energi lain-lain yang merupakan energi dari tangki dan *losses*.



Gambar 18 Grafik Energi Kumulatif Variasi 227 Volt

Grafik energi kumulatif menunjukkan bahwa Q heater merupakan energi kalor yang digunakan untuk mengirimkan kalor ke Q air, Q PW, Q Pipa Cu, dan Q lain. Pada grafik Q pipa Cu lebih rendah dari air dan paraffin di sebabkan 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 dan Grafik Q air mengalami kenaikan yang relatif stabil. Grafik Q lain yang merupakan kalor yang terbuang ketangki dan lingkungan juga mengalami kenaikan yang relatif stabil.

3.6 Energi kumulatif discharging pada variasi 2,5 LPM

Energi kumulatif adalah energi yang dilepas saat proses *discharging* dari awal penelitian hingga selesai dan didapatkan dengan menggunakan persamaan 4.1.

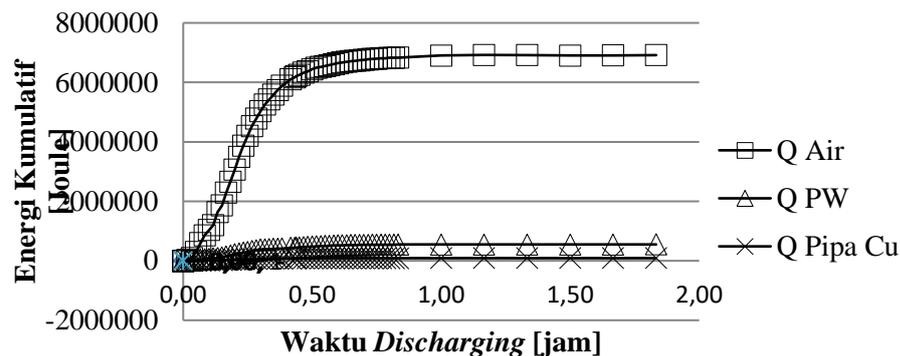
$$Q_{kum} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

$$Q_{kum} = 43,13 \times 4180 \times (65,80 - 26,44)$$

$$Q_{kum} = 7.095.134,33 \text{ J}$$

Energi Kumulatif 2,5 LPM

Bahan	Cp	Massa	T1	T2	ΔT	Q kum
	[J/(kg.K)]	[kg]	°C	°C	°C	(J)
Air	4180	43,13	65,80	26,44	39,36	7.095.134,33
Pipa Cu	390	5,91	66,05	26,32	39,73	91.509,92
PW	2000	3,50	66,32	26,51	39,81	545.161,55



Gambar 19 Grafik Energi Kumulatif

Grafik energi kumulatif menunjukkan pada 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* 2000 J/kg.K. Grafik Q *Paraffin Wax* mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,83 jam sebanyak 0,347 kJ, setelah 0,83 jam hingga selesai laju kenaikan hanya sebesar 540,340-545,162 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa Cu mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 91,418 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-0,83 jam sebesar 6994,991 kJ, setelah 0,83 jam relatif mengalami kenaikan lebih stabil.

4. Kesimpulan

1. Hasil perakitan dan pembuatan tangki TES :

- a.) Menggunakan pompa DC 12 V
- b.) Rotameter charging menggunakan 1000 mLPM sedangkan discharging menggunakan 3 mLPM
- c.) Heater menggunakan imersion heater dengan daya 1500 W
- d.) Volume tangki 60 liter
- e.) Jumlah pipa kapsul 32

2. Hasil uji charging dan discharging

- a. Laju penyerapan temperatur arah vertikal air dan *paraffin wax* pada semua variasi dipengaruhi oleh letak termokopel, semakin dekat dengan *input* tangki TES maka 227 Volt memiliki laju penyerapan kalor dan laju kenaikan suhu akan lebih cepat panas. Sebaliknya semakin dekat dengan *output* tangki TES maka suhu akan lebih stabil.
- b. Evolusi suhu arah vertikal, horizontal, dan aksial pada setiap variasi debit yang baik dalam penurunannya adalah evolusi suhu arah vertikal *paraffin wax* dan air. Hal tersebut dikarenakan pada arah vertikal *paraffin wax* terdapat 4 termokopel dan pada arah vertikal air terdapat 3 termokopel yang masing-masing diantaranya mengalami penurunan yang berurutan sesuai dengan letak termokopelnya dari terdekat input air hingga terjauh, serta minim adanya gejolak grafik.

Daftar Pustaka

- Hasan., Alwi. 2007. Kamus Besar Bahasa Indonesia. Ed. ke-3. Jakarta: Balai Pustaka.
- Kenisarin, M., & Mahkamov, K., 2007. Solar Energy Storage Using Phase Change Materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1913-1965.
- Pisit, Techarungpaisan., Bancha, Buddadee., & Sivanappan, Kumar. *Investigation of Water Flow Rate in a Thermosyphon Solar Water Heater*
- Yuliananda, S., Sarya, G. and Hastijanti, R.R., 2016. Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *JPM17: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(02).
- Wardhana, W.A. 1999. Dampak Pencemaran Lingkungan. Andi Offset Yogyakarta. 284.
- Zalba, B., Marin, J.M., Cabeza, L.F., & Mehling, H. 2002. *Review On Thermal Energy Storage with phase change : materials, heat transfer analysis and applications*. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 23, 251-283.
- Zainuddin. (2014). Perancangan Pemanas Air Tenaga Surya Kapasitas 25 Liter. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.