

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 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° seperti gambar 4.1



Gambar 4.1 *Solar Power Meter*

4.1.1 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

No	Jam	Hasil	No	Jam	Hasil
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

$$\text{data } I_{\text{rata-rata}} = 581 \frac{W}{m^2}$$

$$\text{Asumsi : } \Delta t = 7 \text{ jam} \times \frac{3600 \text{ dt}}{1 \text{ jam}} = 25.200 \text{ dt}$$

$$\text{Efisiensi Solar collector} = \eta_{\text{Solar Collector}} = 20 \%$$

$$\text{Luas solar collector} = 1 \text{ m}^2$$

Energi sinar matahari kumulatif dari 7 jam

$$= \frac{581 J}{dt/m^2} \times 1 m^2 \times 0,2 \times 25.200 \text{ dt}$$

$$= 2.928.240 \text{ J}$$

Hitung Energi Pemanas Air

$$\text{Diketahui : } - T_{\text{awal air}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad - C_p \text{ air} = 4,18 \text{ kJ/kg.k}$$

- T akhir air = 35 °C - Untuk $\Delta T = 10$ °C

- ρ air = 1000 kg/m³

V = 60 liter = 0,06 m³ (asumsi)

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

T awal = 25 °C

T akhir = 35 °C

Maka $\Delta T = T$ akhir – T awal

$$= 35 \text{ °C} - 25 \text{ °C}$$

$$= 10 \text{ °C}$$

Energi yang diperlukan = $m \times C_p \text{ air} \times \Delta T$

$$= 60 \text{ kg} \times 4810 \frac{J}{kg^\circ C} \times 10^\circ C = 2.508.000 \text{ J}$$

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°.

4.2 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 η *Solar Collector* (efisiensi solar collector) 20%.

4.3 Menentukan Volume Tangki dan Rotameter Discharging

4.3.1 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:

- Volume tangki = 3 orang x 20 liter = 60 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 dipertanian untuk setiap orang perhari, dapat dilihat dalam **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4.1 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

4.3.2 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.

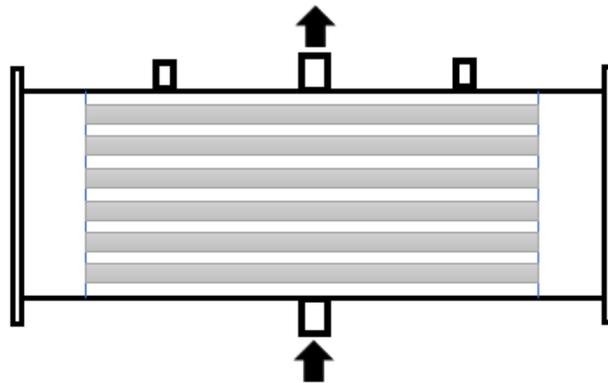
4.4 Menentukan Rotameter Charging

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 supply.

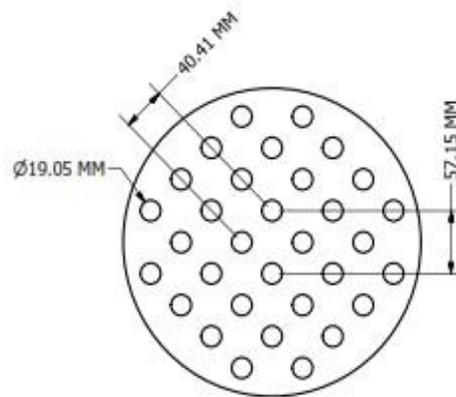
4.5 Menentukan Jumlah Kapsul di dalam Tangki

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 4.2



Gambar 4.2 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 alumunium dan memiliki jumlah lubang 32. Dudukan penopang pipa tembaga dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Tube Sheet

4.6 Kalibrasi Termokopel dan Rotameter

4.6.1 Kalibrasi Termokopel

Kalibrasi *termocouple* merupakan kegiatan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat ukur dengan cara membandingkan dengan cara membandingkan ke standar nasional. Dalam kalibrasi ini membandingkan standar nasional menggunakan *termometer* sebagai acuan dan dapat menganalisis perpindahan kalor vertikal, horisontal dan aksial.



Gambar 4.4 Gambar penampang termokopel

Termokopel yang digunakan yaitu jenis tipe K yaitu dapat membaca rentan suhu $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang berguna untuk mengukur suatu temperatur. Termokopel dipasang pada kapsul PCM (didalam tangki), pipa pvc, dinding tangki bagian luar dan bak air. Untuk mendapatkan temperatur yang sebenarnya

termokopel harus dikalibrasi terlebih dahulu. Hasil kalibrasi termokopel bisa di lihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Kalibrasi Termokopel

$T_{st,1} = 1.0004 \cdot T_1 - 3.12$	$T_{st,17} = 0.9687 \cdot T_{17} - 1.5254$
$T_{st,2} = 1.0013 \cdot T_2 - 2.9765$	$T_{st,18} = 0.9765 \cdot T_{18} - 1.9785$
$T_{st,3} = 1.002 \cdot T_3 - 3.0004$	$T_{st,19} = 0.9479 \cdot T_{19} - 0.2245$
$T_{st,4} = 0.979 \cdot T_4 - 1.401$	$T_{st,20} = 0.9539 \cdot T_{20} - 0.5547$
$T_{st,5} = 0.9992 \cdot T_5 - 2.7203$	$T_{st,21} = 0.9702 \cdot T_{21} - 1.5299$
$T_{st,6} = 0.9972 \cdot T_6 - 2.4968$	$T_{st,22} = 0.9829 \cdot T_{22} - 2.283$
$T_{st,7} = 0.9946 \cdot T_7 - 2.2876$	$T_{st,23} = 0.9394 T_{23} + 0.5556$
$T_{st,8} = 0.9662 \cdot T_8 - 0.3918$	$T_{st,24} = 0.9672 \cdot T_{24} - 1.1536$
$T_{st,9} = 0.9544 \cdot T_9 - 0.817$	$T_{st,25} = 1.0016 \cdot T_{25} - 1.6511$
$T_{st,10} = 0.9847 \cdot T_{10} - 2.625$	$T_{st,26} = 0.9991 \cdot T_{26} - 1.56$
$T_{st,11} = 0.9822 \cdot T_{11} - 2.4318$	$T_{st,27} = 1.0027 \cdot T_{27} - 1.9469$
$T_{st,12} = 0.9841 \cdot T_{12} - 2.513$	$T_{st,28} = 0.9804 \cdot T_{28} - 0.5561$
$T_{st,13} = 0.9799 \cdot T_{13} - 2.2114$	$T_{st,29} = 1.0004 \cdot T_{29} - 1.9302$
$T_{st,14} = 0.9605 \cdot T_{14} - 0.9199$	$T_{st,30} = 0.9725 \cdot T_{30} + 0.0986$
$T_{st,15} = 0.9837 \cdot T_{15} - 2.3527$	$T_{st,31} = 1.0003 \cdot T_{31} - 2.0741$
$T_{st,16} = 0.9847 \cdot T_{16} - 2.3997$	$T_{st,32} = 0.9557 \cdot T_{32} + 0.8542$

4.6.2 Kalibrasi Rotameter

a) Rotameter Charging

Kalibrasi rotameter 1000 mLPM adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat ukur. Kalibrasi dilakukan dengan cara pengaturan mLPM dari yang terkecil. Setelah itu, menghidupkan stopwatch dan air dialirkan ke dalam gelas 100 mL. Air yang mengalir ke dalam gelas setelah penuh maka stopwatch di stop. Catat waktu yang dibutuhkan untuk menghitung debit aktualnya. Kalibrasi dilakukan dari 100 mLPM sampai 1000 mLPM. Setelah itu, mencari debit aktualnya dengan persamaan (3.1)

$$Q_{aktual} = 0.9211 \cdot Q_{rotameter} - 51.752 \text{ pers (3.1)}$$

Dimana, Q_{aktual} didapat dari nilai 0.9211 dikali dengan $Q_{rotameter}$ yang tertera pada alat kemudian dikurangi dengan nilai 51.752. Setelah melakukan perhitungan maka akan didapat Q aktual yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil kalibrasi rotameter

NO	Rotameter	Voltage Regulator		DC Power Supply	
		Voltase	Arus	Voltase	Arus
	[mLPM]	[Volt]	[Ampere]	[Volt]	[Ampere]
1	900	227	5,44	5,1	1,01
2	800	227	5,58	5,1	1,3
3	700	227	5,37	3,3	0,54
4	600	227	5,6	2,8	0,51

b.) Rotameter Discharging

Kalibrasi rotameter 3 LPM proses pengecekan dan pengaturan akurasi dari alat ukur dengan cara membandingkan dengan standar/tolak ukur serta untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan akurat dan konsisten dengan instrumen lainnya. Kalibrasi dilakukan dengan cara pengaturan LPM dari yang terkecil hingga yang terbesar. Setelah itu, menghidupkan *stopwatch* dan air dialirkan ke dalam gelas 100 mL. Air yang mengalir ke dalam gelas diperhatikan setelah penuh maka *stopwatch* di *stop*. Catat waktu yang dibutuhkan untuk menghitung debit aktualnya.

Kalibrasi dilakukan dari 0,2 LPM hingga 3 LPM. Setelah itu, mencari debit aktual dengan persamaan (3.1)

$$(V/s) \times (60/1000) \dots \dots \dots (3.1)$$

Rumus tersebut menjelaskan bahwasannya V adalah volume dari gelas ukur yaitu 100 mL, s yaitu satuan second yang merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi gelas ukur dan di ubah ke dalam LPM dengan cara dikali 60 serta di bagi 1000. Setelah perhitungan maka akan didapat hasil Q aktual. Hasil kalibrasi didapat dari variasi debit LPM dan Q aktual yang terdapat pada persamaan (3.2).

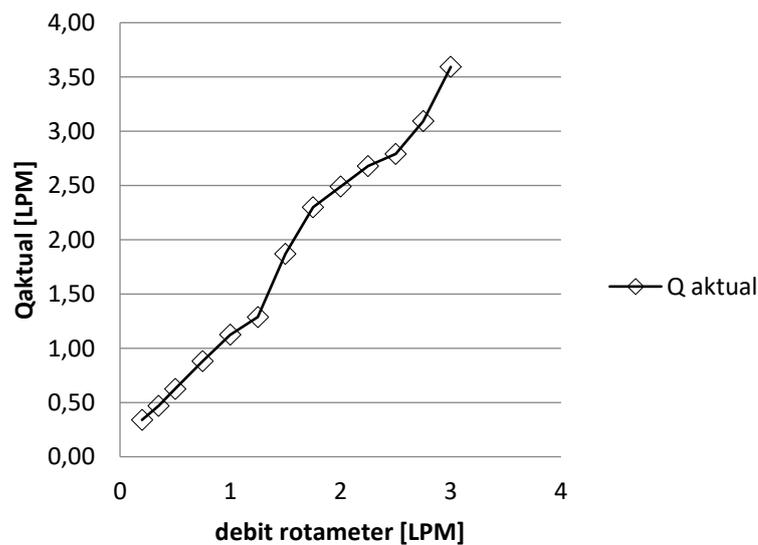
$$y = 1,1526x + 0,0552 \text{ serta hasil } R^2 = 0,9876 \dots \dots \dots (3.2)$$

menjelaskan bahwa Q aktual dapat dinyatakan dengan menghitung debit yaitu pada x dengan menggunakan persamaan tersebut, sedangkan nilai R^2 yaitu bahwa nilai Q aktual dapat dinilai akurat jika nilai $R^2 = 1$, tetapi pada hasil kalibrasi ini mendapatkan nilai R^2 sebesar 0,9876 yang artinya tetap dianggap akurat karena

hasil tersebut mendekati angka 1. Berikut data hasil kalibrasi beserta grafik ditunjukkan pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.20.

Tabel 4.4 Hasil kalibrasi rotameter 3 LPM

No	Rotameter	DC Power Supply		Debit Aktual		Suhu Air		Q_{aktual}
		Voltase	Arus	Volum e	Wakt u	Awa l	Akhi r	
	[LPM]	[Volt]	[Ampere]	[mL]	[detik]	[°C]	[°C]	LPM
1	0,2	1,8	0,4	100	17.66	28	28	0,34
2	0,35	2,1	0,42	100	12.79	28	28	0,47
3	0,5	2,6	0,44	100	9.6	28	28	0,63
4	0,75	3,9	0,51	100	6.81	28	28	0,88
5	1	4,6	0,56	100	5.34	28	28	1,12
6	1,25	5,5	0,62	100	4.66	28	28	1,29
7	1,5	6,1	0,67	100	3.21	28	28	1,87
8	1,75	7	0,74	100	2.61	28	28	2,30
9	2	8	0,81	100	2.41	28	28	2,49
10	2,25	8,9	0,89	100	2.24	28	28	2,68
11	2,5	10,1	0,95	100	2.15	28	28	2,79
12	2,75	10,8	1	100	1.94	28	28	3,09
13	3	11,8	1.06	100	1.67	28	28	3,59



Gambar 4.5 Grafik kalibrasi rotameter 3 LPM

4.7 Pembuatan Campuran Paraffin Wax + Serbuk CU

Dengan proses :

- 1.) Paraffin Wax dan serbuk CU ditimbang



Gambar 4.6 Timbangan

- 2.) Paraffin wax di panaskan atau dicairkan dan di putar menggunakan magnet steel dan di aduk menggunakan mixer



Gambar 4.7 Hot plate magnetic steel

- 3.) Untuk mendapatkan campuran yang homogen, pemutaran atau pengadukan di lakukan selama 1 menit

Data campuran cu dan paraffin wax 10% dan 20% dapat di liat pada tabel

Tabel 4.5 Campuran paraffin wax dan CU

Nama Material	Densitas Padat (kg/m ³)	Densitas Cair (kg/m ³)	Viskositas (Pa.s)	Cp (kJ/kg.K)
Paraffin Wax	865	810,8	0,077321844	3,12
Paraffin Wax - Cu 10%	934	823,3	0,100652882	3,04
Paraffin Wax - Cu 20%	940,95	898	0,330627688	3,15

4.8 Pengisian Cairan Paraffin Wax pada Kapsul PCM

Kapsul PCM dengan panjang 70 cm dimasukan cairan *paraffin wax* sebanyak 121 ml dengan prosentase pengisian sebesar 70 %. Prosentase pengisian 70 % dikarenakan untuk menghindari tekanan yang berlebih ketika kapsul berisi PCM menerima kalor dari hasil proses *charging*. Hasil ini diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut:

- Panjang tabung - panjang baut (penutup kapsul)
 $70 \text{ cm} - 2 \text{ cm} = 68 \text{ cm}$
- Diameter luar kapsul = 19 mm
- Tebal kapsul = 1,02 mm
- Diameter dalam kapsul = Diameter luar kapsul – tebal kapsul
 $= 19 \text{ mm} - 1.02$
mm
 $= 17,98 \text{ mm}$
- Jari – jari kapsul = 8,99 mm atau 9 mm
- Volume tabung jika full = $\pi \times r^2 \times t$
 $= \pi \times 9^2 \times 680 \text{ mm}$
 $= 173038,92 \text{ mm}^3$
 $= 173,03892 \text{ ml}$
- Prosentase pengisian 70 % = $173,03892 \text{ ml} \times 70\%$
 $= 121,127244 \text{ ml}$

Prosentasi pengisian cairan *paraffin wax* pada kapsul PCM sebesar 70 % didasari dari perhitungan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad v = \frac{m}{\rho}$$

$$\Rightarrow \Delta v = \frac{V_l - V_s}{V_s} = \frac{\frac{m}{\rho_l} \pm \frac{m}{\rho_s}}{\frac{m}{\rho_s}}$$

$$\Delta v = \rho_s \cdot \left(\frac{1}{\rho_l} - \frac{1}{\rho_s} \right)$$

$$= 0,88 \cdot \left(\frac{1}{0,77} - \frac{1}{0,88} \right)$$

$$\Delta v = 0,1429 = 14,29 \%$$

Hasil ini menjelaskan bahwa prosentase sebesar 14,29 % yaitu selisih sisa ruang pada kapsul pipa tembaga berisi PCM. Selisih ini sebagai ruang udara yang bertujuan untuk tempat pelelehan PCM (*paraffin wax*) yang akan membuat full pada kapsul PCM dalam menerima kalor saat proses *charging* yang mengakibatkan tekanan tinggi akan terjadi. Hal tersebut tentunya dapat terjadinya kebocoran pada pipa PCM karena ruang sisa udara yang terlalu penuh. Maka prosentase sisa ruang udara dalam pengisian cairan *paraffin wax* pada kapsul PCM harus diperbesar lagi dengan jumlah prosentase sebesar 30%, sehingga tidak terjadinya kebocoran ketika terjadinya tekanan karena masih terdapat ruang udara.

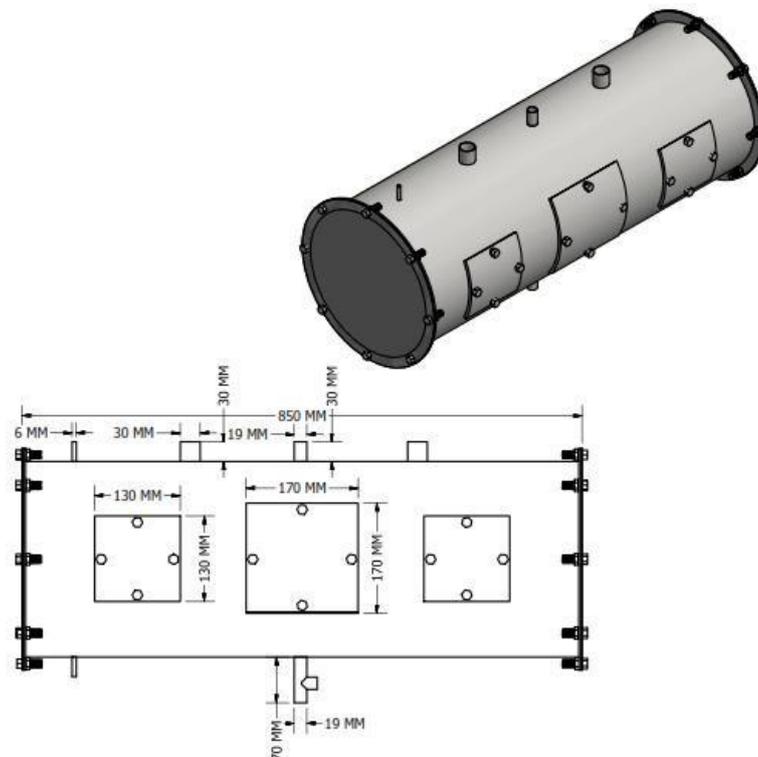
4.9 Pengujian Kebocoran Pipa Kapsul

Untuk pengujian kapsul sendiri kita membuat alat untuk memanaskan kapsul yang berisi paraffin agar bisa mengetahui kebocoran kapsul dibagian mana. Alat tersebut terbuat dari plat persegi panjang yang menyerupai bentuk U dengan panjangnya 100mm. Alat tersebut di tempatkan di atas kompor dan plat persegi tersebut diisi dengan air untuk simulasi kapsul yang ada didalam tangki sedang di panaskan apakah pipa kapsul mengalami kebocoran apa tidak. Untuk pengujian pertama kita menggunakan lem porting tetapi masih ada kebocoran didaerah lubang termokopel terus kita mencoba menggunakan solatip untuk di balutkan pada termokopel baru di lakukan pengeleman dengan lem G terus di lapisi dengan plastik steel. Hasil dari pengeleman tersebut baru berhasil pada pipa kapsul tidak mengalami kebocoran.

4.10 Pembuatan Alat Uji

a. Tangki utama kapasitas 60 liter

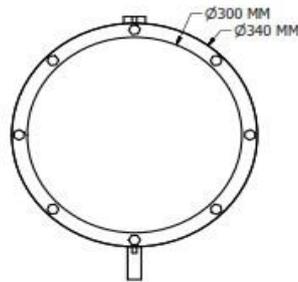
Tangki ini menggunakan bahan stanlis 304 yang masuk dalam kategori food grade merupakan stainless steel dengan komposisi 18/8 atau 18/10. Memiliki komposisi 18/8 yang artinya kandungan kromium sebesar 18% sedangkan kandungan kandungan nikel sebesar 8%. Arti code ini menunjukkan komposisi kandungan kroum 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 4.8



Gambar 4.8 Tangki utama 60 liter

b. Tutup Tangki

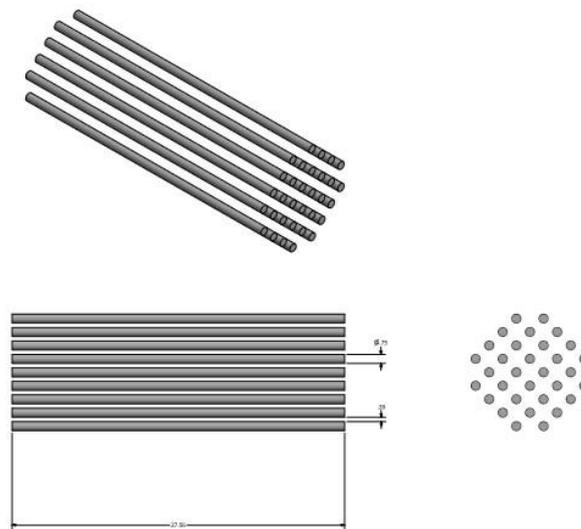
Perancangan desain pada tutup tangki dengan tebal plat 2mm. dan di desain dengan beberapa lubang baut agar bisa mempermudah pemasangan komponen yang ada dalam tangki dan untuk mencegah kebocoran di gunakan paking. Gambar sebagai mana di jelaskan pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Tutup Tangki

c. Kapsul PCM

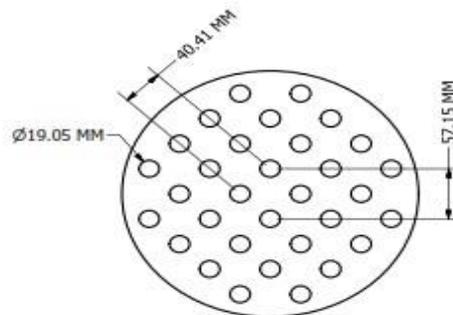
Perancangan kapsul PCM dengan tebal 1 mm mendapatkan hasil seperti gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4.10 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 4.11 Penyangga PCM dalam tangki

e. Hasil ancsangan 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 4.12**



Gambar 4.12 Hasil Perancangan

4.12 Uji Kebocoran pada Tangki

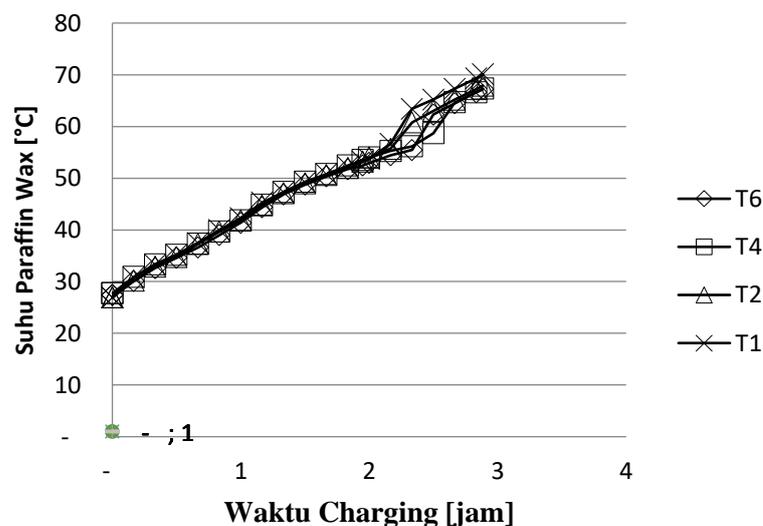
Sebelum melakukan pengujian kebocoran pada tangki kita memasang komponen tangki terlebih dahulu seperti tutup samping kanan dan samping kiri tangki dan jendela tangki. Setelah komponen terpasang semua baru bisa melakukan uji kebocoran tangki dengan cara tangki di isi dengan air secara penuh terus di lihat apakah tangki tersebut mengalami kebocoran apa tidak. Ketika pengujian kebocoran tangki mengalami kebocoran pada jendela tangki, untuk mengatasi kebocoran tersebut kita menambahkan paking dengan di lapisi lam siler agar tidak mengalami kebocoran lagi. Setelah di lakukan pengujian kebocoran ulang pada tangki, tangki tidak mengalami kebocoran. Untuk itu tangki sudah siap untuk di akukan pengujian dengan berabagai variasi.

4.13 Pengujian Awal Charging

4.13.1 Evolusi Suhu pada Variasi 227 Volt dengan kapsul berisi *Paraffin Wax*

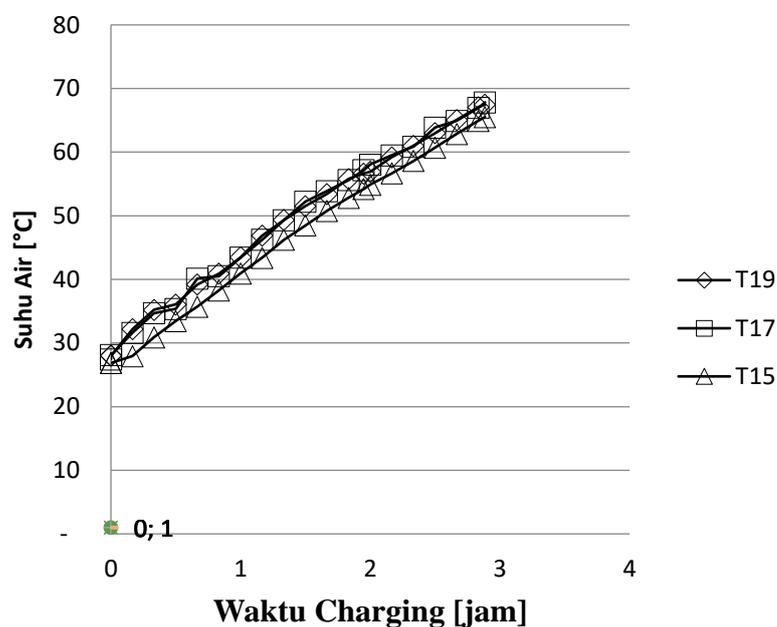
Penelitian laju penyerapan kalor pada variasi 201 Volt yang terjadi dari HTF ke PCM perlu dilakukan analisis. Analisis grafik penyerapan kalor PCM meliputi arah vertikal, arah horizontal, dan arah aksial termokopel yang terletak pada pipa tembaga dengan posisi pada Gambar 3.13. Proses pengambilan data penyerapan kalor dengan variasi 227 Volt membutuhkan waktu 2,8 jam.

a. Evolusi Suhu Arah Vertikal



Gambar 4.13 Evolusi Suhu PCM Arah Vertikal

Berdasarkan menunjukkan bahwa suhu awal tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Ketika suhu mencapai angka $53,70^{\circ}\text{C}$ terjadi lonjakan pada grafik. Hal tersebut disebabkan adanya perubahan fasa paraffin dari padat menjadi cair. Lonjakan suhu terjadi karena paraffin yang mulai mencair sehingga konduktivitas menjadi naik maka paraffin lebih cepat menyerap kalor. Selain terjadinya perubahan fasa juga disebabkan oleh peletakan termokopel yang terlalu rapat sehingga terjadi gejolak aliran.

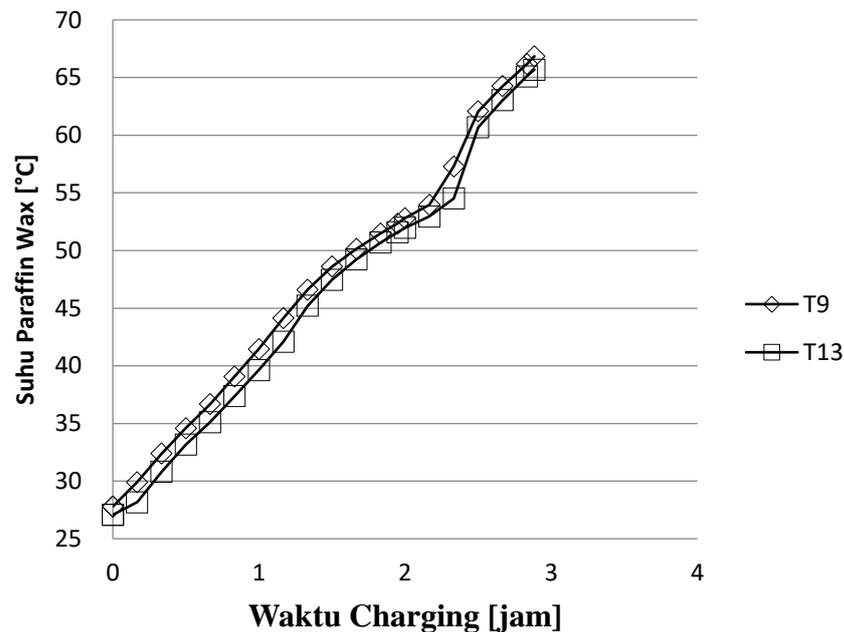


Gambar 4.14 Evolusi Suhu Air Arah Vertikal

Berdasarkan grafik menunjukkan perubahan temperatur seiring dengan waktu pada proses charging. Kenaikan temperatur HTF terjadi secara perlahan dan berfluktuasi. Kenaikan temperatur dari awal proses sampai akhir pengujian terlihat cepat. Cepatnya kenaikan temperatur ini mengindikasikan bahwa laju transfer kalornya lebih besar. Hal ini disebabkan oleh besarnya kalor yang ditransfer oleh heater.

Terlihat pada grafik T17 dan T19 mempunyai suhu lebih tinggi dibanding T15. Termokopel T15 memiliki suhu yang lebih rendah disebabkan peletakan termokopel yang jauh dari input heater. Pada waktu 0,5 jam suhu $34 - 40^{\circ}\text{C}$ grafik terlihat kurang stabil. Hal ini disebabkan adanya fluida yang masuk kedalam tangki TES sehingga menyebabkan debit air naik turun pada waktu tersebut

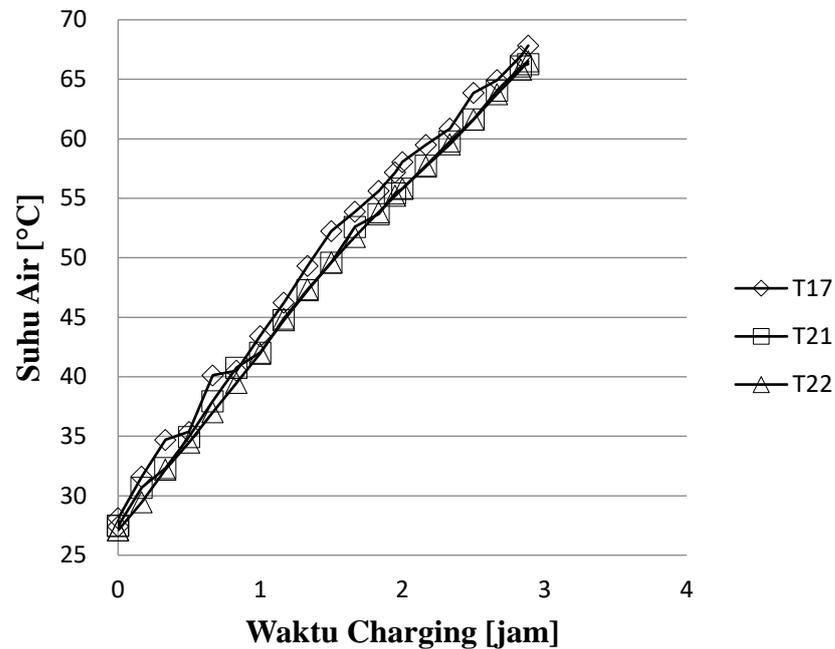
b. Evolusi Suhu Arah Horizontal



Gambar 4.15 Evolusi Suhu PCM Arah Horizontal

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, sehingga T9 lebih dahulu terkena air heater daripada T13 yang terletak di samping T9.

Kenaikan suhu T9 dan T13 dari suhu awal dan waktu 0-2 jam tidak mengalami kenaikan suhu yang drastis. Sampai pada waktu 2,1 jam suhu T9 memasuki suhu $52,96^{\circ}\text{C}$ dan T13 memasuki suhu $53,97^{\circ}\text{C}$ mengalami lonjakan suhu dimana pada suhu tersebut terjadi perubahan fasa paraffin dari padat menjadi cair. Lonjakan suhu terjadi karena paraffin yang mulai mencair sehingga konduktifitas menjadi naik maka paraffin lebih cepat untuk menyerap kalor.

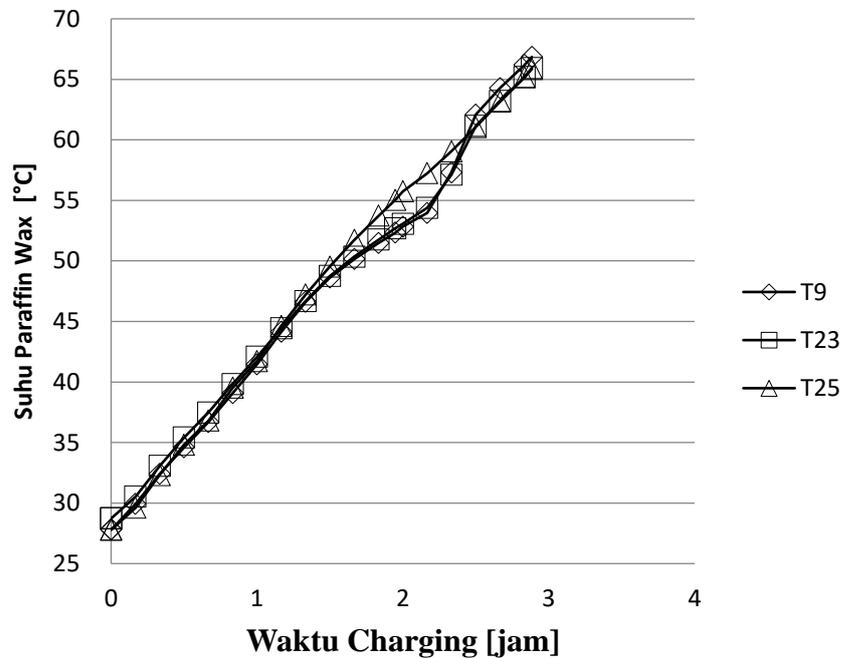


Gambar 4.16 Evolusi Suhu Air Arah Horizontal

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. Kenaikan temperatur HTF terjadi secara perlahan dan berfluktuasi. Kenaikan temperatur dari awal proses sampai akhir pengujian terlihat cepat. Cepatnya kenaikan temperatur ini mengindikasikan bahwa laju transfer kalornya lebih besar. Hal ini disebabkan oleh besarnya kalor yang ditransfer oleh heater.

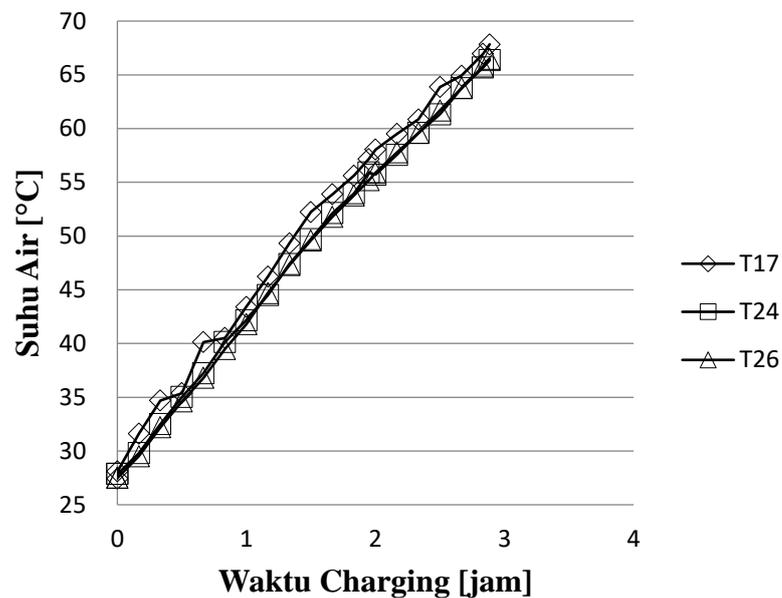
Grafik menunjukkan T17 pada waktu 0,5 – 0,83 jam suhu 43 – 40°C terlihat kurang stabil. Hal ini disebabkan terjadi gejolak aliran yang disebabkan peletakan termokopel yang kurang rapi sehingga laju aliran air inlet dari *heater* terhambat. T21 dan T22 terbaca relatif stabil.

c. Evolusi Suhu Arah Aksial



Gambar 4.17 Evolusi Suhu PCM Arah Aksial

Berdasarkan grafik menunjukkan ketiga termokopel memulai awal pengujian dengan suhu yang relatif sama. Kondisi pengujian terlihat waktu 0 – 1,8 jam relatif stabil. Pada suhu 52,69 °C terbaca pada T9 dan T23 sedangkan T25 terbaca 55,03 °C terjadi pelambatan kenaikan suhu. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan fasa paraffin dari padat menjadi cair. Lonjakan suhu terjadi karena paraffin yang mulai mencair sehingga konduktifitas menjadi naik maka paraffin lebih cepat untuk menyerap kalor. Setelah suhu mencapai 62,08 °C terlihat stabil kembali sampai akhir pengujian.



Gambar 4.18 Evolusi Suhu Air Arah Aksial

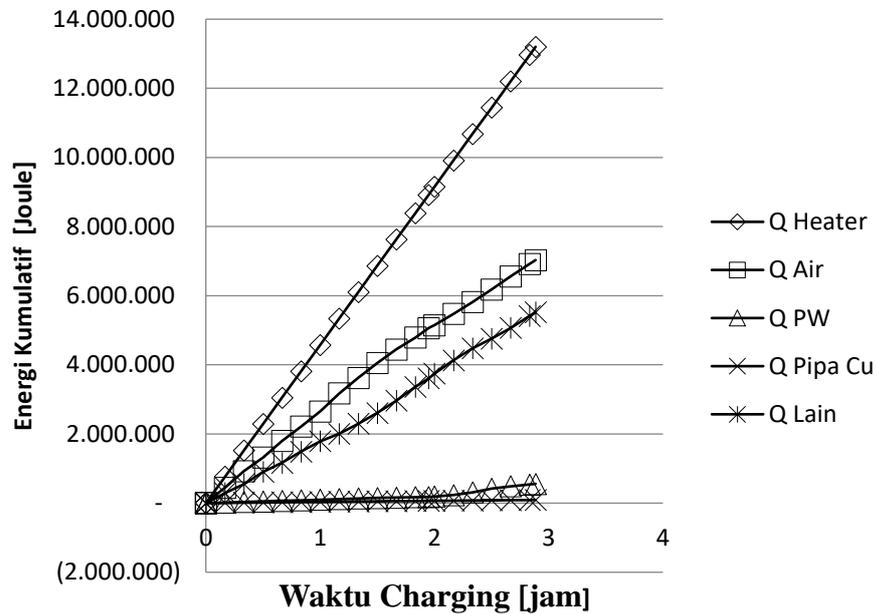
Terdapat perbedaan kenaikan suhu air dari ketiga termokopel. Dari awal pengujian sampai akhir T17 merupakan suhu yang tertinggi dari ketiga termokopel tersebut, karena letak T17 yang lebih dekat dengan posisi inlet air yang berasal dari heater. Kenaikan temperatur HTF terjadi secara perlahan dan berfluktuasi. Kenaikan temperatur dari awal proses sampai akhir pengujian terlihat cepat. Cepatnya kenaikan temperatur ini mengindikasikan bahwa laju transfer kalornya lebih besar. Hal ini disebabkan oleh besarnya kalor yang ditransfer oleh heater.

Grafik menunjukkan T17 pada waktu 0,3 – 0,83 jam suhu 43 – 40 °C terlihat kurang stabil. Hal ini disebabkan terjadi gejolak aliran yang disebabkan peletakan termokopel yang kurang rapi sehingga laju aliran air inlet dari *heater* terhambat. T21 dan T22 terbaca relatif stabil. Hingga akhir pengujian T17 terlihat kurang stabil.

4.13.2 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); *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 4.19 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.

4.14 Pengujian Awal Discharging

4.14.1 Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 2,5 LPM dengan kapsul berisi

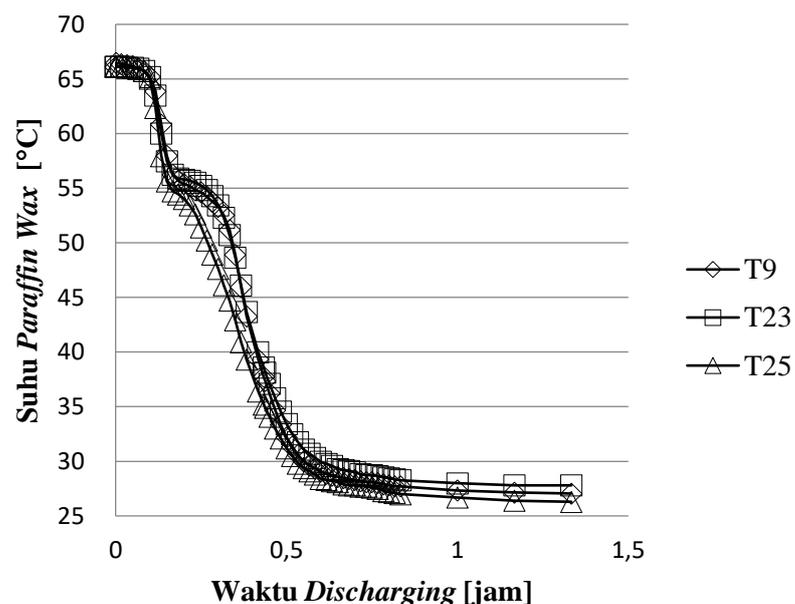
Paraffin Wax

Penelitian laju pelepasan kalor yang terjadi dari PCM ke HTF perlu dilakukan pengamatan pelepasan temperatur PCM arah aksial, arah vertikal, dan arah horisontal yang ada di dalam tangki TES. Hasil pengamatan yang dilihat dari 26 titik termokopel yang tersebar seperti pada Gambar 3.19 dengan variasi debit laju aliran 1 LPM, 1,5 LPM, 2 LPM, dan 2,5 LPM pada proses *discharging kontinyu*. Proses pengambilan data menggunakan *discharging kontinyu*, yaitu dilakukan

tanpa adanya jeda waktu dalam pengaliran debit ketika pengambilan data berlangsung. Proses tersebut dilakukan seterusnya hingga suhu pada T32 mencapai 35°C. Laju pelepasan temperatur variasi 2,5 LPM paling cepat diantara variasi debit LPM lainnya. Karena semakin besar debit yang diberikan pada proses discharging, maka semakin cepat penurunan suhu yang didapatkan. Pengambilan data 2,5 LPM mencapai 1 jam 27 menit.

a. Evolusi Suhu Arah Aksial

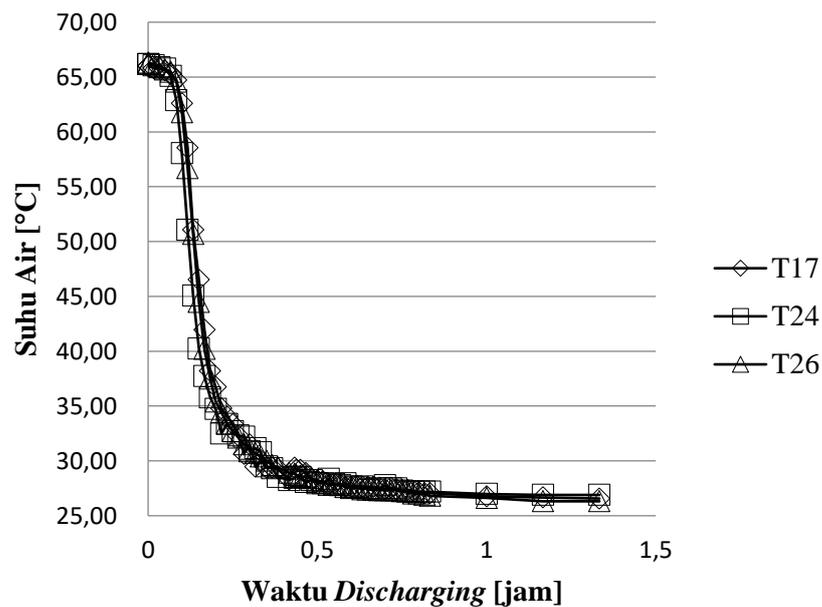
Hasil setelah pengujian pada variasi 2,5 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.20 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.20 Evolusi Suhu *Paraffin Wax* Arah Aksial

Grafik menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tersebut mengalami penurunan suhu yang relatif sama hingga waktu 0,18 jam, karena pada waktu tersebut PCM masih merata, tetapi pada waktu berikutnya mengalami penurunan suhu yang berbeda – beda. Hal ini disebabkan karena terjadinya perubahan fasa yang tidak sama pada setiap termokopel yang terpasang pada arah aksial *paraffin wax* dan pengaruh suhu HTF yang diberikan kepada PCM tidak merata karena titik

letak termokopel yang berbeda, yaitu T9 terdapat pada penampang A, T23 pada penampang B, dan T25 pada penampang C. Pengaruh suhu HTF yang tidak merata terbukti pada T25 yang seharusnya waktu penurunan kalor yang lebih lama dibandingkan T9 karena titik letak T25 terdapat pada penampang C, sedangkan T9 pada penampang A yang dekat dengan input air kran. Jadi, urutan yang benar pada pelepasan kalor dari lama ke cepat yaitu T25, T23, dan T9.

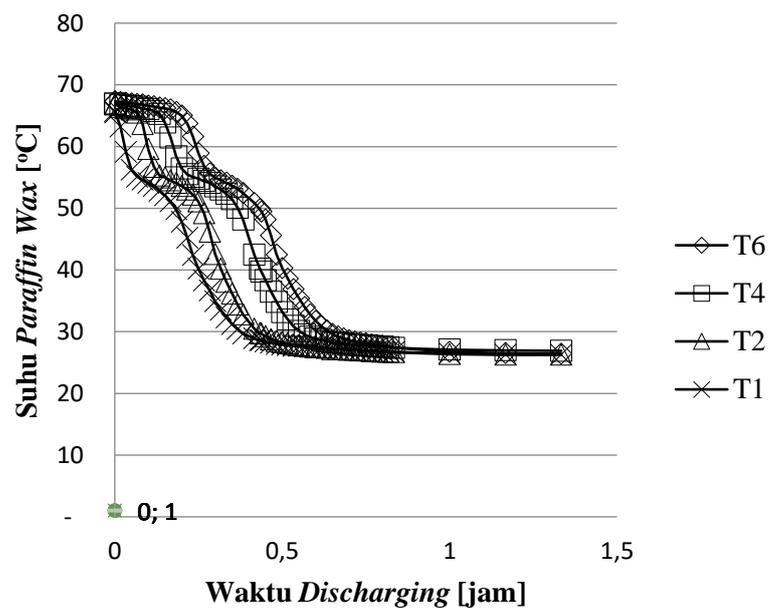


Gambar 4.21 Evolusi Suhu Air Arah Aksial

Grafik aksial air menunjukkan penurunan suhu pada T17 dan T26 tidak mengalami perbedaan, tetapi pada T24 mengalami penurunan suhu yang berbeda dan waktu yang berbeda. Perbedaan suhu dan waktu tersebut dilihat dari suhu 61 °C hingga 35 °C dan 0,1 – 0,2 jam. Hal ini sangat tidak logis pada termokopel T24 yang terletak lebih jauh dari input kran air dibandingkan dengan T17, dikarenakan terjadinya gejolak aliran air yang disebabkan peletakan termokopel yang tidak rapi, sehingga penurunan suhu dan waktu HTF pada T24 lebih cepat, tetapi setelah suhu 35°C dan 0,2 jam terjadi gejolak aliran air kembali yang mengakibatkan perubahan suhu yang tidak beraturan pada ketiga termokopel tersebut. Perubahan suhu mulai stabil pada temperatur 27 °C karena HTF sudah tidak terjadi gejolak aliran air yang tidak merata.

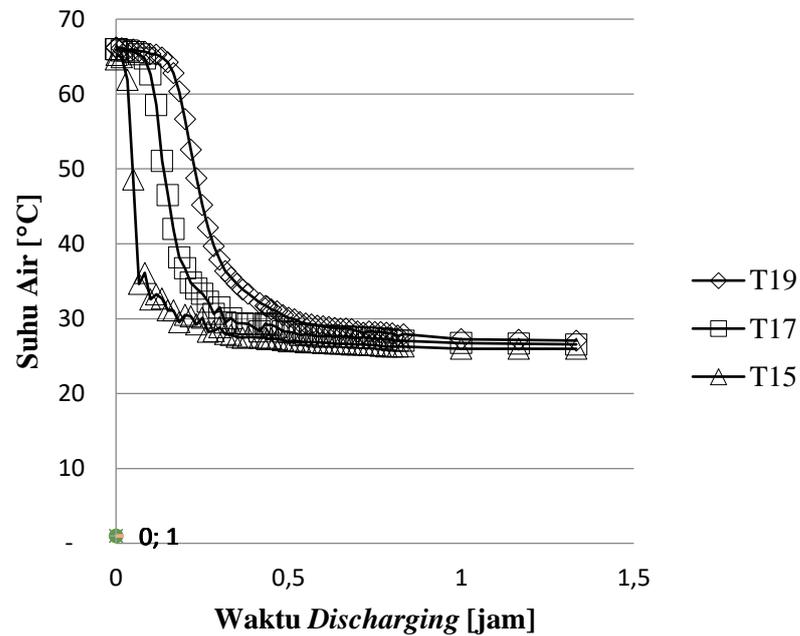
b. Evolusi Suhu Arah Vertikal

Hasil setelah pengujian pada variasi 2,5 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.22 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.25.



Gambar 4.22 Evolusi Suhu *Paraffin Wax* Arah Vertikal

Suhu pada T1 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya. Rendahnya T1 dipengaruhi oleh letak pipa tembaga, letak pipa tembaga berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T6 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak pipa tembaga yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T6 pada 0-0,5 jam berkisar 27°C, suhu T4 berkisar 34°C, suhu T2 berkisar 37°C, dan suhu T1 berkisar 38°C. Sehingga penurunan suhu paling cepat pada T1 selama setengah jam.

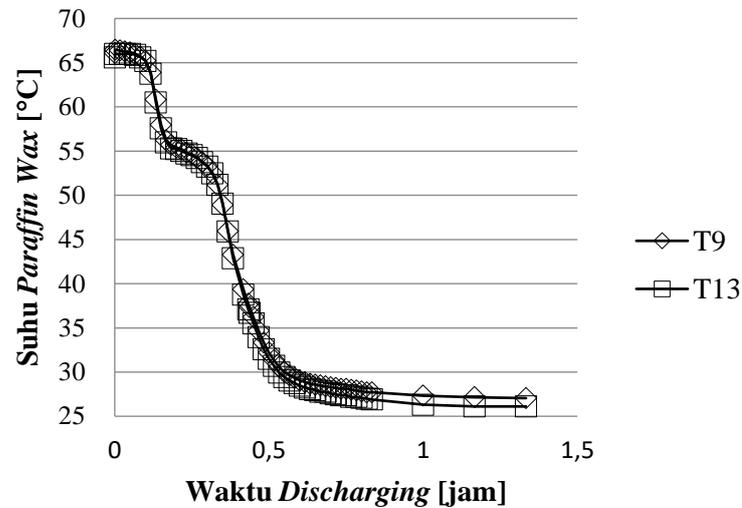


Gambar 4.23 Evolusi Suhu Air Arah Vertikal

Suhu pada T15 dalam data penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dan rendahnya T15 dipengaruhi oleh letak termokopel, letak T15 berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T19 memiliki suhu yang relatif stabil karena letak yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T19 pada 0-0,5 jam berkisar 34°C, suhu T17 berkisar 37°C, dan suhu T15 berkisar 39°C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T15, tetapi suhu T15 mengalami perubahan suhu yang tidak stabil dimulai dari 0,06-0,31 jam, serta pada suhu T17 dari 0,28-0,45 jam juga demikian. Hal ini disebabkan terjadinya gejala aliran air yang tidak merata.

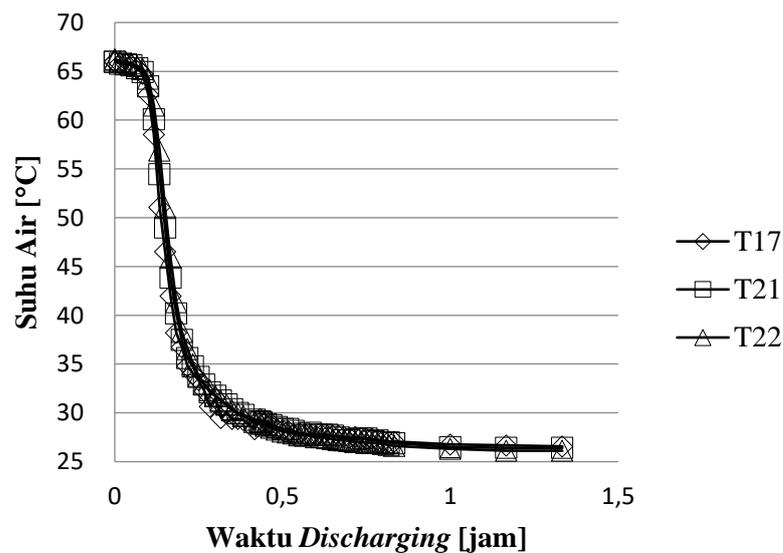
c. Evolusi Suhu Arah Horizontal

Hasil setelah pengujian pada variasi 2,5 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu *paraffin wax* dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.24 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.25.



Gambar 4.24 Evolusi Suhu *Paraffin Wax* Arah Horizontal

Grafik menunjukkan bahwa suhu pada kedua termokopel tidak mengalami perbedaan yang signifikan, tetapi adanya lengkungan pada suhu 55 °C hingga 51 °C. Hal ini disebabkan karena *paraffin wax* sempat menahan suhu saat terjadinya pelepasan kalor dari PCM ke HTF dan tidak begitu terjadi gejolak aliran air yang besar sehingga tidak membuat kedua termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar. Suhu T9 pada awal pengambilan data lebih rendah dari T13 dikarenakan letak pipa tembaga T9 berada di atas *output* air kran, sehingga saat kran dibuka T9 dahulu mengenai air dari T13 yang berada pada samping T9.



Gambar 4.25 Evolusi Suhu Air Arah Horizontal

Grafik horizontal air menunjukkan penurunan suhu pada T21 dan T22 tidak mengalami perbedaan yang signifikan, tetapi pada T17 mengalami penurunan suhu yang signifikan dan waktu yang berbeda. Hal ini disebabkan karena T17 terkena debit air kran terlebih dahulu dibandingkan T21 dan T22, sehingga penurunan suhu dan waktu HTF pada T17 lebih cepat. Setelah suhu 28°C dan 0,5 jam penurunan mulai sama secara stabil karena HTF sudah tersebar secara merata. Secara garis besar perbedaan suhu ketiga termokopel rata-rata mengalami perbedaan penurunan suhu dan waktu yang berbeda karena letak termokopel tersebut pada setiap penampangnya.

4.14.2 Grafik Energi Kumulatif 2,5 LPM

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

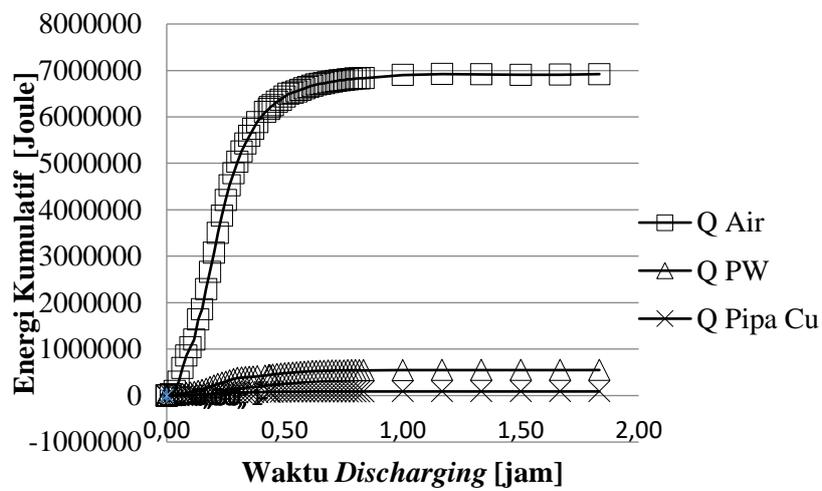
$$Q_{kum} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

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

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

Tabel 4.6 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 4.26 Grafik Energi Kumulatif

Grafik energi kumulatif menunjukkan pada Q pipa *Cu* lebih rendah dari air dan *paraffin wax Cu* disebabkan nilai C_p yang rendah yaitu 390 J/kg.K , sedangkan nilai C_p air 4180 J/kg.K dan C_p *Paraffin Wax* 2000 J/kg.K . Grafik Q *Paraffin Wax* mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,83 jam sebanyak $0,347 \text{ kJ}$, setelah 0,83 jam hingga selesai laju kenaikan hanya sebesar $540,340\text{-}545,162 \text{ kJ}$ dan relatif stabil. Grafik Q pipa *Cu* mengalami kenaikan relatif stabil sebesar $91,418 \text{ kJ}$. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-0,83 jam sebesar $6994,991 \text{ kJ}$, setelah 0,83 jam relatif mengalami kenaikan lebih stabil.