

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Penyimpanan panas pada tangki *solar water heater (SWH)* menggunakan air dan *paraffin wax* sebagai bahan untuk penelitian. Air yang berperan sebagai *heat transfer fluid (HTF)* dan *phase change material (PCM)* berupa *paraffin wax* diintegrasikan sebagai SHS. Propertis air dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan yang digunakan adalah *paraffin wax* lokal, namun setelah melakukan pengujian DSC (*differential scanning calorimetry*) dimana mendapatkan hasil *melting point* sekitar 61°C maka *paraffin* lokal diasumsikan seperti *paraffin wax* dengan *rubiterm 60 (RT 60)*. Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi dari *paraffin wax RT 60* dan dapat dilihat bentuk dari jenis *paraffin wax RT 60* pada Gambar 3.1

3.1.1. Air

Bahan pertama yang digunakan dalam penelitian ini adalah air biasa (SHS) sebagai *heat transfer fluid (HTF)*. Berikut *Properties* air dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1. Properties Air (Cengel, 2003)

Air	
<i>Boiling Point</i> ($^{\circ}\text{C}$)	100
<i>Latent Heat of Vaporization</i> (kJ/kg)	2257
<i>Freezing Point</i> ($^{\circ}\text{C}$)	0
<i>Latent Heat of Fusion</i> (kJ/kg)	333,7
Massa Jenis (kg/m^3)	1000
Kalor Jenis Spesifik pada suhu 25°C (J.kg.K)	4180
Konduktivitas Termal pada suhu 25°C (W/m.K)	0,607

3.1.2. *Paraffin Wax* Lokal

Bahan kedua yang digunakan pada penelitian ini adalah *paraffin wax* lokal sebagai PCM. *Paraffin Wax* lokal perlu diketahui sifat fisik dan termal yang berupa densitas material ketika *solid* maupun *liquid* pada suhu tertentu, kalor jenis, *melting point* dan lain-lain. Berdasarkan sifat fisik dan termal yang harus diketahui maka harus dilakukan pengujian dengan menggunakan metode DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). Berikut *paraffin wax* lokal terdapat pada Gambar 3.1.



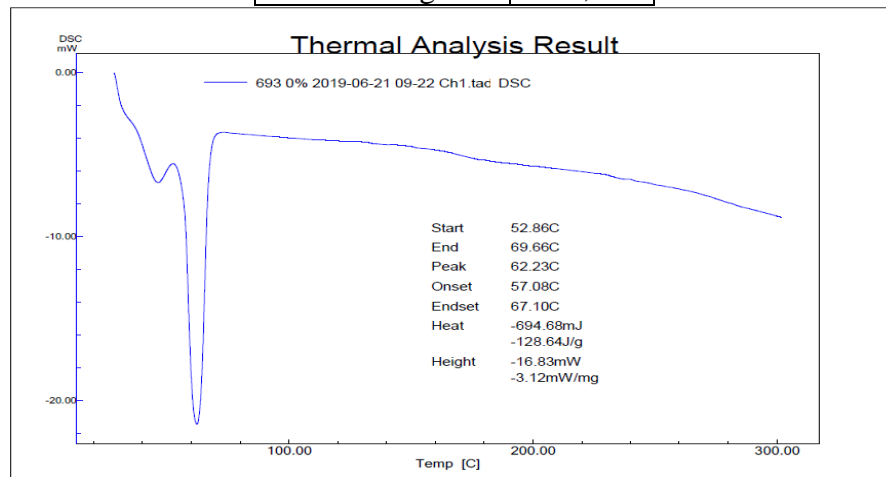
Gambar 3. 1. *Paraffin Wax* Lokal

3.1.3. Hasil Uji DSC

Hasil dari uji DSC memiliki fungsi untuk menentukan nilai RUBITHERM dengan cara melihat nilai *Peak* dari hasil DSC. Nilai *Peak* dari *paraffin wax* menunjukkan pada suhu 62,23 °C mengalami puncak leleh sehingga nilai RUBITHERM yang digunakan adalah RT-60. Hasil uji DSC juga digunakan untuk menentukan PCM mulai berubah fasa dan PCM berhenti mengalami perubahan fasa. Gambar 3.2. dapat dilihat bahwa perubahan fasa pada PCM dilihat dari *start* suhu dan *stop* pada uji DSC.

Tabel 3. 2. Hasil Uji DSC Paraffin Wax Lokal

[DSC Peak]	1
Peak	
[°C]	62,23
Onset	
[°C]	57,08
Endset	
[°C]	67,10
Heat	
mJ	-694,68
J/g	-128,64
Height	
mW	-16,83
mW/mg	-3,12



Gambar 3. 2. Hasil Uji DSC Paraffin Wax

3.1.4. Paraffin Wax Rubitherm 60

Paraffin wax RT60 merupakan jenis *paraffin* yang memiliki *melting point* 60°C serta memiliki spesifikasi yang tertera pada table 3.8. Hasil pengujian DSC pada *paraffin wax* lokal diperoleh hasil *melting point* sebesar 62°C. Hal ini mendasari bahwa penelitian ini menggunakan *paraffin wax* lokal yang diasumsikan seperti RT 60, karena memiliki *melting point* hampir sama sehingga dari asumsi tersebut dapat diperoleh spesifikasi fisik dan termalnya yang dapat

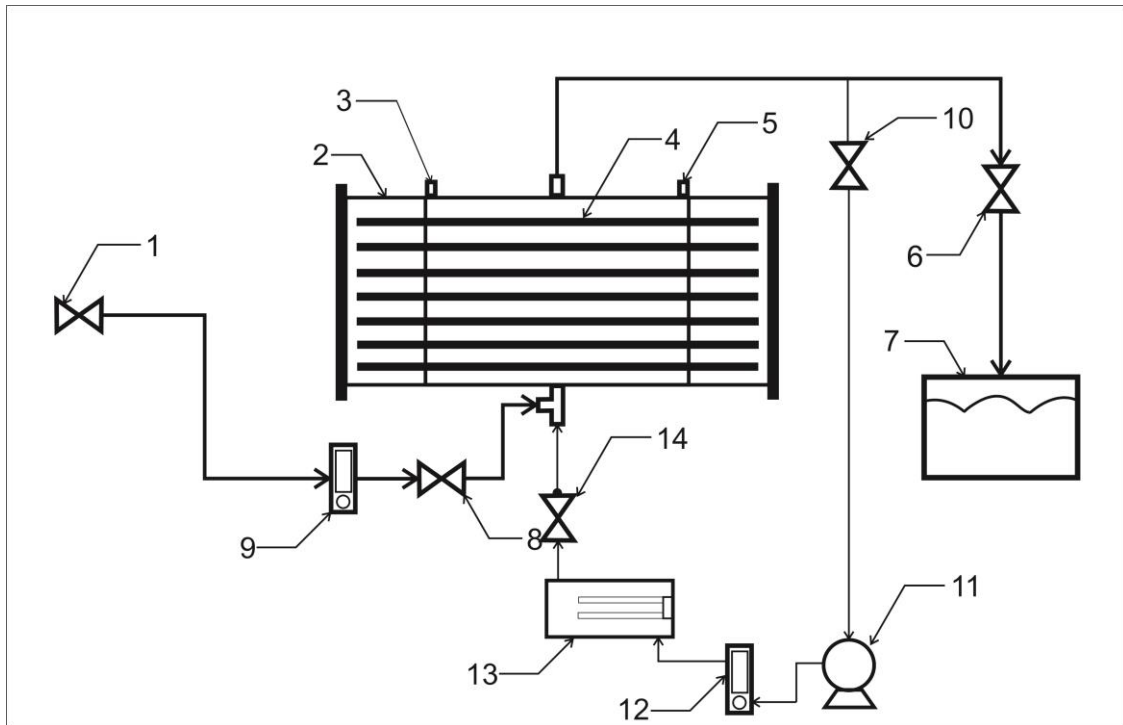
digunakan untuk melakukan perhitungan dalam penelitian ini, serta mengetahui kemampuan karakteristik termal pada *paraffin wax* lokal yang digunakan. Spesifikasi *paraffin wax* RT 60 dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3. Spesifikasi dari *paraffin wax* RT 60 (*Rubitherm Phase Change Material*)

<i>Paraffin Wax</i> RT 60	
Temperatur leleh (°C)	55-61 [°C] Titik puncak : 60 [°C]
Temperatur beku (°C)	61-55 [°C] Titik puncak : 61 [°C]
Kapasitas penyimpan panas ± 7,5 %	160 [kJ/kg]
Kombinasi panas <i>latent</i> dan panas <i>sensible</i> dalam kisaran suhu 53 °C hingga 68 °C	40 [Wh/kg]
Kapasitas panas spesifik	2 [kJ/kg.K]
Massa jenis padat pada 15 °C	0,88 [kg/l]
Massa jenis cair pada 80 °C	0,77 [kg/l]
Konduktivitas panas (fasa kedua)	0,2 [W/(m.K)]
Volume ekspansi	12,5 [%]
Titik nyala	>200 [°C]
Maksimum suhu operasi	80 [°C]

3.2. Alat Penelitian

Solar Water Heater (SWH) dengan sistem aktif yang menggunakan energi thermal pada *heat transfer fluid* (HTF) memerlukan penggunaan pompa dan alat pengontrol lainnya. Hal ini mendasari bahwa SWH sistem ini masih memerlukan energi listrik. Berikut adalah skema alat dan alat SWH dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gaambar 3.3.



Gambar 3. 3. Skema Alat SWH proses *Discharging*

Skema alat SWH tersebut merupakan skema proses *discharging* bertahap yang terdiri dari :

- (1) Keran air,
- (2) Tangki SWH,
- (3) Lubang masuknya kabel termokopel,
- (4) Pipa tembaga,
- (5) Lubang masuknya kabel termokopel,
- (6) Valve keluarnya air dari tangki ke bak,
- (7) Bak Penampung Air,
- (8) Valve masuknya air dari keran ke tangki,
- (9). Rotameter Air 3,0 LPM serta 1 – 8 GPM LZT M – 15,
- (10). Valve proses *Charging*
- (11). Pompa
- (12) Rotameter 1000 LPM

(13) *Immersion heater*

(14). Valve proses *Charging*



Gambar 3. 4. Alat Penelitian Solar Water Heater

Adapun terdapat komponen - komponen penunjang alat SWH ini adalah sebagai berikut :

1. *Applent Temperature Data Logger AT 4532*

Applent Temperature Data Logger AT 4532 berfungsi untuk membaca output suhu yang terbaca oleh termokopel didalam kapsul PCM (didalam tangki), pipa pvc, dinding tangki bagian luar dan bak air. Data logger AT 4532 memiliki pengaturan yang dapat diprogram, bunyi bip ketika suhu tinggi/rendah, 32 saluran menampilkan suhu secara bersamaan, disesuaikan dengan 128 saluran. Bentuk dari data logger tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4 serta adapun beberapa rincian spesifikasi dari *Applent Temperature Data Logger AT 4532* terdapat pada Tabel 3.3.



Gambar 3. 5. Applent Temperature Data Logger AT 4532

Tabel 3. 4. Spesifikasi Data Logger

Aspek	Penjelasan
<i>Merk</i>	<i>Applent AT4532</i>
<i>Jumlah Channel</i>	<i>32 (available 128)</i>
<i>Dimensi</i>	<i>216mm (L) x88mm (T) x300mm (P)</i>
<i>Berat</i>	<i>3 kg</i>
<i>Akurasi</i>	<i>0.2% + 1 °C</i>
<i>Rentang suhu</i>	<i>-200 ° C ~ 1300 ° C</i>

2. Tangki *Solar Water Heater*

Tangki SWH merupakan komponen utama yang digunakan untuk penompang pipa tembaga berisi PCM sejumlah 32 buah dan sebagai penyimpan energi termal pada air dan pipa tembaga berisi untuk memudahkan dalam pemasangan titik dan penempatan termokopel tangki ini mempunyai tiga buah kotak, dan memiliki 2 lubang penutup pada sisi samping tangki, serta 5 lubang penghubung input pipa pvc, output pipa pvc, tempat keluar

termokopel yang terpasang pada kapsul berisi paraffin, dan selang pengukur volume air.

Tangki SWH ini ditutup dengan *glass wool* dan aluminium foil guna mengurangi *heat loss*. Tangki ini terbuat dari material *stainles steel* memiliki panjang 700 mm, diameter 300 mm, dan kapasitas sebesar 60 liter. Tangki sebelum dan sesudah terpasang glasswool serta aluminium foil ditunjukkan pada Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3. 6. Tangki *solar water heater* belum terpasang glasswool dan aluminium.



Gambar 3. 7. Tangki *solar water heater* sudah terpasang glasswool dan aluminium foil.

3. Laptop

Laptop digunakan untuk membantu proses pengambilan data suhu yang diperoleh dari data termokopel yang melalui data logger dengan menggunakan aplikasi *Applent Temperature Data Logger* AT 4532. Laptop yang digunakan memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 3.4 dan ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Tabel 3. 5. Spesifikasi Perangkat Laptop

Jenis hardware	Perangkat computer
<i>Processor</i>	Intel Core i5-8250U 3.4Ghz
<i>Motherboard</i>	Asus
<i>RAM</i>	4 GB DDR 4
<i>Graphic Card</i>	NVIDIA GEFORCE 930MX
<i>Storage</i>	1TB SATA HDD 5400RPM

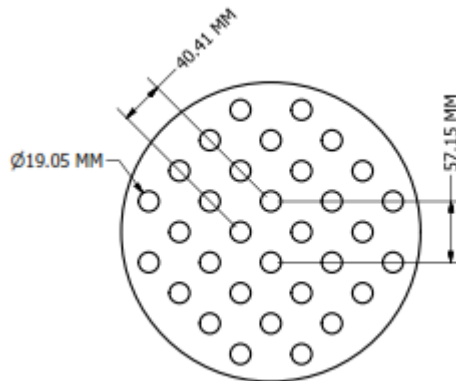


Gambar 3. 8. Laptop

4. Dudukan penopang pipa tembaga (*Tube Sheet*)

Dudukan yang berbentuk plat penopang merupakan tempat untuk meletakkan pipa tembaga (kapsul PCM) yang dimasukkan kedalam tangki SWH. Dudukan ini berjumlah 2 buah yang berbahan aluminium dengan tebal 1 cm dan memiliki jumlah lubang sebanyak 32. Berikut dudukan plat

penopang pipa tembaga (*tubesheet*) beserta ukurannya tampak 2 dimensi dan bentuk visual dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.



Gambar 3. 9. Dudukan penopang pipa tembaga.



Gambar 3. 10. Dudukan penopang pipa tembaga.

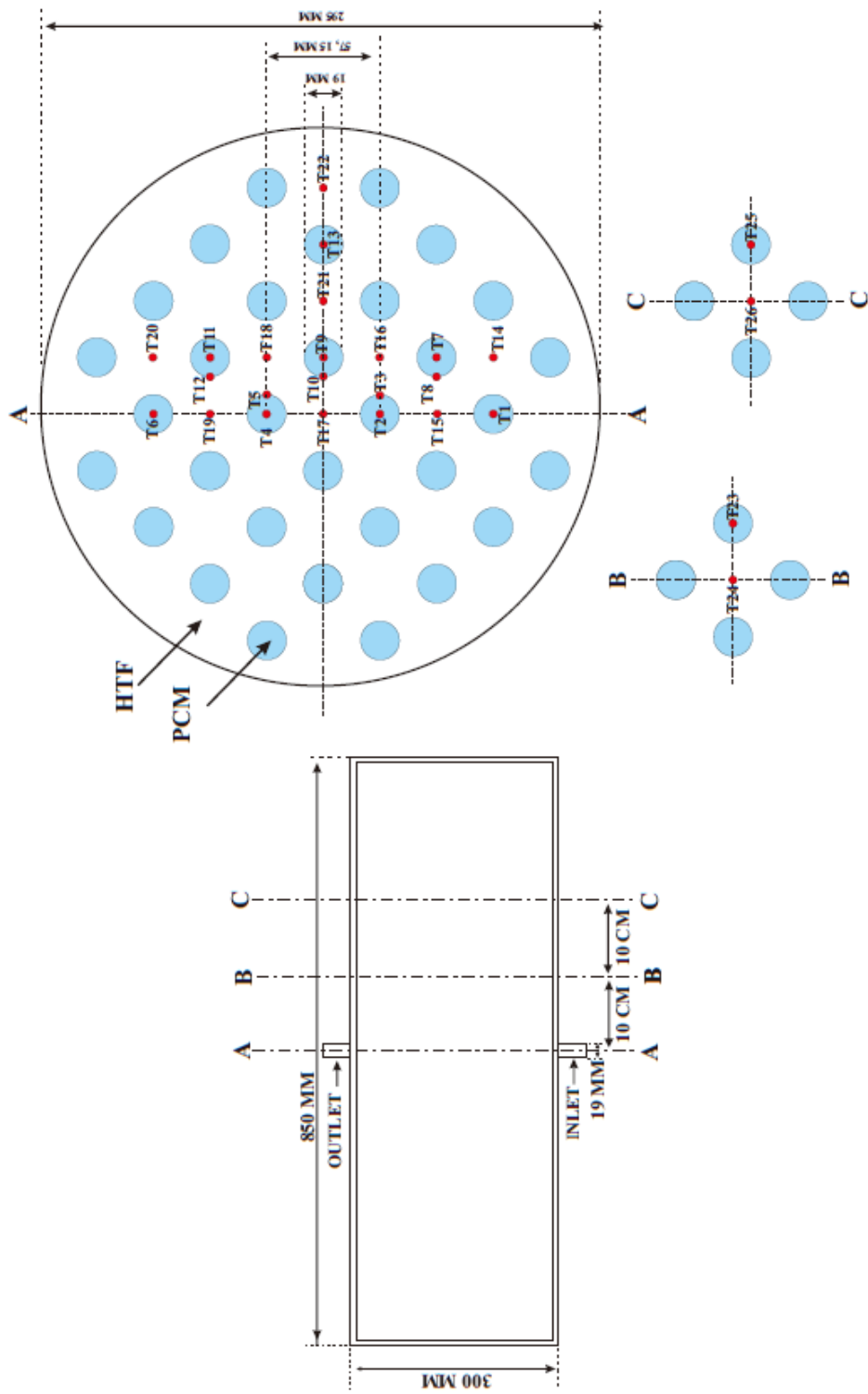
5. Kapsul PCM (*phase change material*)

Kapsul PCM merupakan wadah dari *paraffin wax* yang berperan sebagai penyimpan energi termal kalor laten. Kapsul dipasang didalam tangki SWH dengan jumlah 32 buah. Masing-masing pipa memiliki panjang 70 cm dan diameter luar 19 mm. Bahan kapsul menggunakan pipa tembaga. Kapsul PCM bentuk visual dan 2 dimensi ditunjukkan pada Gambar 3.10. dan Gambar 11.



Gambar 3. 11. Kapsul PCM

Kapsul PCM juga sebagai tempat peletakkan termokopel yang terdiri atas penampang A, B, dan C dimana letak termokopel berada didalam kapsul, didinding kapsul, serta diarahkan ke air. Pemasangan tersebut dilakukan guna memperoleh hasil perbedaan suhu antara letak termokopel yang berada didalam pipa, didinding pipa, serta mengarah ke air pada setiap penampangnya. Termokopel pada penampang A yaitu T1, T2, T5, T6, T7, T9, T11, T13 (didalam kapsul PCM), T3, T5, T8, T10, T12 (didinding kapsul PCM), T15, T17, T19, T14, T16, T18, T20, T21, T22 (mengarah ke air). Termokopel pada penampang B yaitu T23 (didalam kapsul PCM) dan T24 (mengarah ke air). Termokopel pada penampang C yaitu T25 (didalam kapsul PCM) dan T26 (mengarah ke air). Berikut desain *numbering* pemasangan termokopel pada setiap penampang dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12. Desain numbering pemasangan termokopel.

6. Rotameter Air

Rotameter air merupakan alat yang digunakan untuk mengatur variasi debit air yang masuk ke tangki SWH. Rotameter yang digunakan merupakan produksi pabrik dari LZT M – 15 *Instrument Company* yang dapat mengukur debit sebesar 0,2 – 3,0 LPM serta 1 – 8 GPM. Berikut rotameter ditunjukkan pada Gambar 3.13.

Tabel 3. 6. Spesifikasi Rotameter

No.	Aspek	Keterangan
1	Merek	LZT M-15
2	Dual Scala	GPM/LPM
3	Ukuran	Drat 3/4"



Gambar 3. 13. Rotameter 3 LPM

7. Termokopel

Termokopel digunakan untuk mengukur suatu temperatur. Termokopel dipasang pada kapsul PCM (didalam tangki), pipa pvc, dinding tangki bagian luar dan bak air. Untuk mendapatkan temperature yang

sebenarnya termokopel harus dikalibrasi terlebih dahulu seperti yang terlihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 14. Termokopel

8. *Valve*

Valve merupakan sebuah perangkat yang mengatur, mengarahkan, dan mengontrol aliran dari suatu aliran *fluida* dengan membuka dan menutup sebagian jalan dari alirannya Berikut contoh valve yang digunakan terdapat pada Gambar 3.15.



Gambar 3. 15. Valve

9. Bak Penampung

Bak penampung berfungsi menampung air yang keluar dari tangki SWH pada saat proses *discharging* berlangsung. Bak ini juga diletakkannya termokopel T32 guna mengukur suhu air yang terdapat pada bak penampung tersebut. Berikut bak penampung dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3. 16. Bak penampung

10. Selang air

digunakan untuk mengalirkan air dari kran ke tangki SWH pada proses *discharging* berlangsung.

Tabel 3. 7. Spesifikasi Selang

No.	Aspek	Keterangan
1	Panjang	12 meter
2	Ukuran	3/4"



Gambar 3. 17. Selang

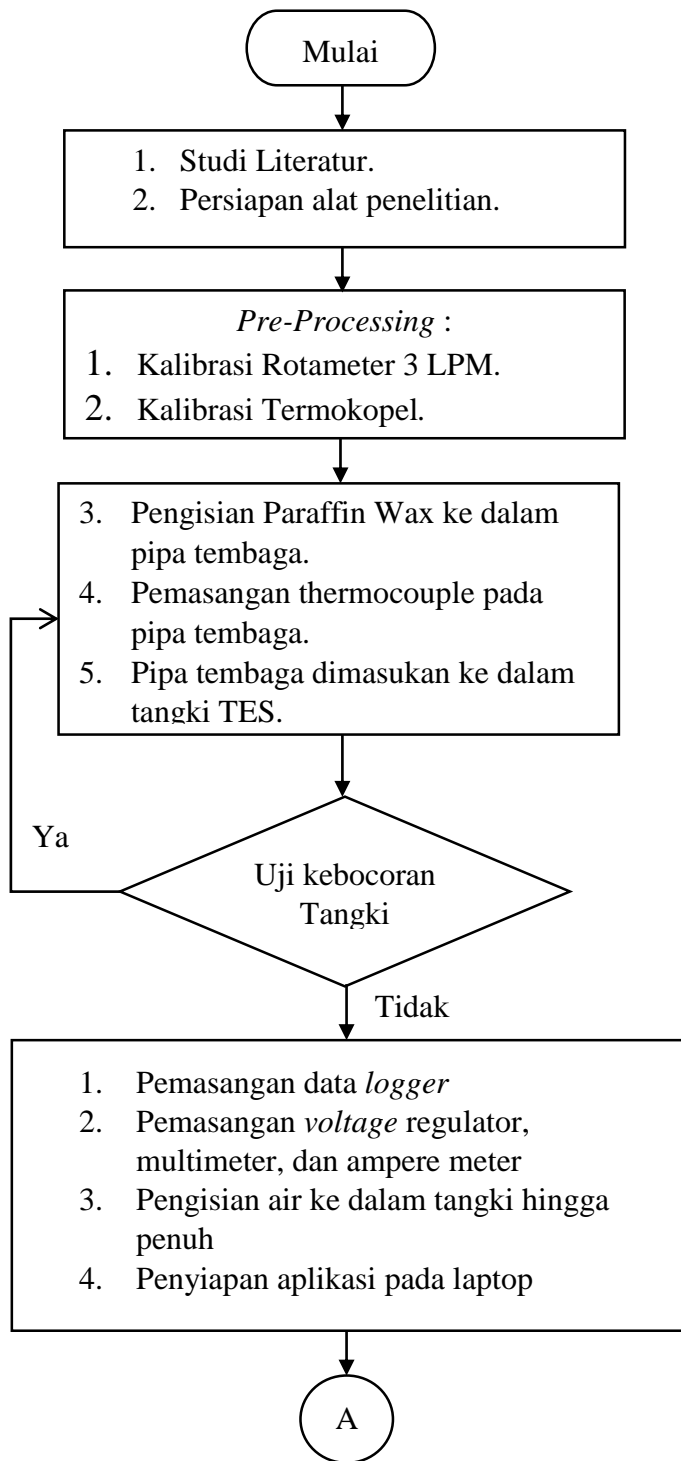
3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Variasi Penelitian

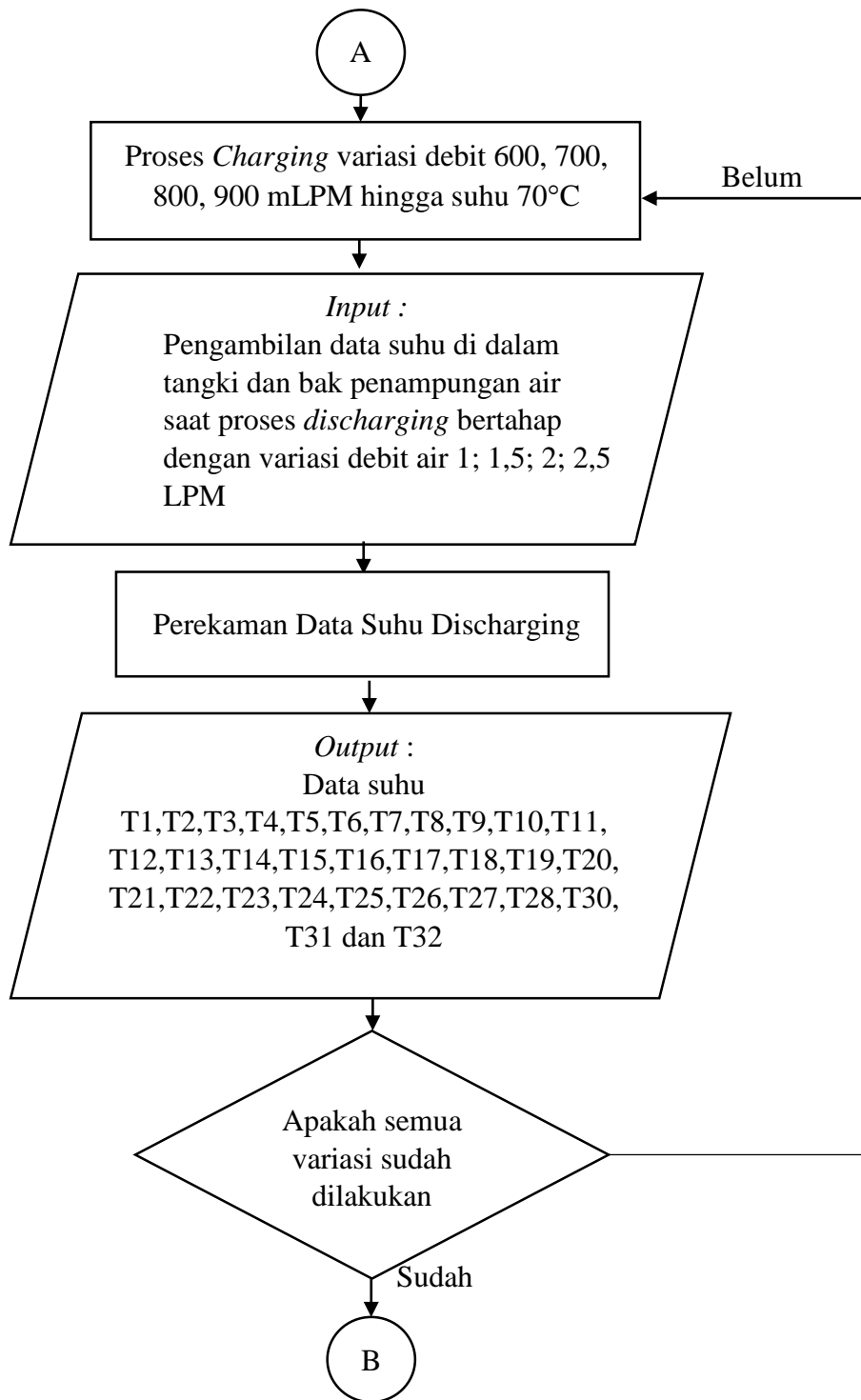
Variasi penelitian menggunakan variasi debit air pada proses *discharging* bertahap dengan empat macam variasi debit yaitu 1; 1,5; 2; 2,5 LPM.

3.3.2. Diagram Alir Penelitian

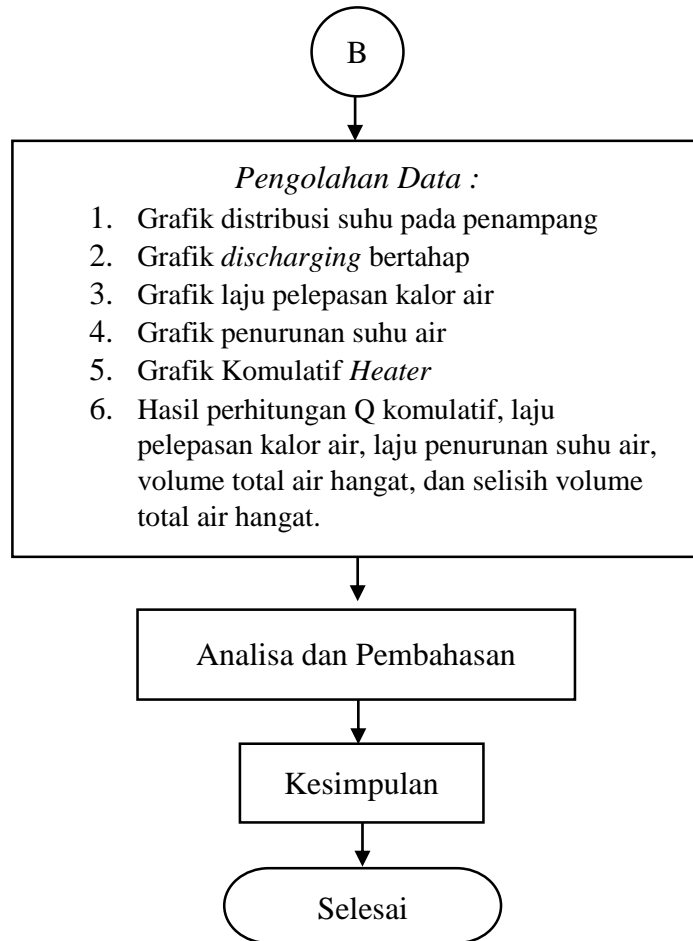
Penelitian sebuah alat dengan proses berjalannya penelitian ini dari awal hingga akhir dapat dilihat pada diagram alir seperti pada Gambar 3.18. sampai Gambar 3.20



Gambar 3. 18. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 18. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



Gambar 3. 18. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.4. Rencana Analisi Data

3.4.1. Pre-Processing

Pre-Processing merupakan tahapan awal sebelum penelitian dilakukan. Tahapan ini terdiri dari beberapa tahap dalam membuat alat SWH diantaranya pembuatan *frame*/Rangka penompang, pembuatan tangki TES, instalasi pipa tembaga, pengisian *paraffin wax* yang sebelumnya sudah di cairkan kemudian diisi kedalam pipa tembaga, kalibrasi rotameter 3 LPM, kalibrasi termokopel, pemasangan termokopel pada pipa tembaga PCM dengan menggunakan lem tahan panas, pemasangan pipa kapsul PCM ke dalam tangki TES, dan tes kebocoran pada tangki sudah terisi air.

a. Kalibrasi Termokopel

Kalibrasi termokopel ini bertujuan untuk menentukan kebenaran nilai alat ukur dengan membandingkan tolak ukur alat *thermometer* yang nantinya di jadikan sebagai acuan. Setelah melakukan kalibrasi, dapat diketahui seberapa jauh perbedaan yang diperoleh antara *thermocouple data logger 32 chanel* dengan *thermometer*. Hasil kalibrasi *thermocouple* dapat dilihat pada Tabel 3.6

Tabel 3. 8. Kalibrasi Thermocouple

$T_{st,1} = 1.0004 \cdot T1 - 3.12$	$T_{st,17} = 0.9687 \cdot T17 - 1.5254$
$T_{st,2} = 1.0013 \cdot T2 - 2.9765$	$T_{st,18} = 0.9765 \cdot T18 - 1.9785$
$T_{st,3} = 1.002 \cdot T3 - 3.0004$	$T_{st,19} = 0.9479 \cdot T19 - 0.2245$
$T_{st,4} = 0.979 \cdot T4 - 1.401$	$T_{st,20} = 0.9539 \cdot T20 - 0.5547$
$T_{st,5} = 0.9992 \cdot T5 - 2.7203$	$T_{st,21} = 0.9702 \cdot T21 - 1.5299$
$T_{st,6} = 0.9972 \cdot T6 - 2.4968$	$T_{st,22} = 0.9829 \cdot T22 - 2.283$
$T_{st,7} = 0.9946 \cdot T7 - 2.2876$	$T_{st,23} = 0.9394 T23 + 0.5556$
$T_{st,8} = 0.9662 \cdot T8 - 0.3918$	$T_{st,24} = 0.9672 \cdot T24 - 1.1536$
$T_{st,9} = 0.9544 \cdot T9 - 0.817$	$T_{st,25} = 1.0016 \cdot T25 - 1.6511$
$T_{st,10} = 0.9847 \cdot T10 - 2.625$	$T_{st,26} = 0.9991 \cdot T26 - 1.56$
$T_{st,11} = 0.9822 \cdot T11 - 2.4318$	$T_{st,27} = 1.0027 \cdot T27 - 1.9469$
$T_{st,12} = 0.9841 \cdot T12 - 2.513$	$T_{st,28} = 0.9804 \cdot T28 - 0.5561$
$T_{st,13} = 0.9799 \cdot T13 - 2.2114$	$T_{st,29} = 1.0004 \cdot T29 - 1.9302$
$T_{st,14} = 0.9605 \cdot T14 - 0.9199$	$T_{st,30} = 0.9725 \cdot T30 + 0.0986$
$T_{st,15} = 0.9837 \cdot T15 - 2.3527$	$T_{st,31} = 1.0003 \cdot T31 - 2.0741$
$T_{st,16} = 0.9847 \cdot T16 - 2.3997$	$T_{st,32} = 0.9557 \cdot T32 + 0.8542$

b. Kalibrasi Rotameter 3 LPM

Kalibrasi rotameter merupakan proses pengecekan keakurasian dari alat ukur tersebut dengan cara membandingkan standarnya dan menjadikan tolak ukur dan memastikan alat ketika nantinya alat ukur dipakai saat penelitian akurat dan konsisten dengan komponen lainnya. kalibrasi pada rotameter ini dilakukan dari LPM terkecil hingga terbesar dengan menggunakan air yang di alirkan ke dalam gelas ukur 100mL dengan mengukur waktu menggunakan *stopwatch*.

Proses ini dilakukan sampai gelas penuh di angka 100mL yang terdapat pada gelas ukur bersamaan dengan *stopwatch* di *stop* dan kemudian catat waktu yang di butuhkan untuk mengetahui debit aktualnya. Kalibrasi pada rotameter dimulai dari variasi 0,2 LPM hingga 3 LPM. Setelah itu mencari debit aktualnya menggunakan persamaan (3.1)

$$Q_{\text{aktual}} = 1.1526x \cdot Q_{\text{rotameter}} + 0.0552 \quad (3.1)$$

Dimana V merupakan volume tempat air yaitu 100 ml, s merupakan waktu dengan satuan detik dan diubah menjadi mlPM dengan dikalikan 60 dan dibagi 1000. Setelah melakukan perhitungan maka keluar hasil dari Q aktual yang dapat dilihat pada Tabel 3.7. dan Gambar 3.21.

Tabel 3. 9. Hasil kalibrasi rotameter 3 LPM

No.	Rotameter	DC Power Supply		Debit Aktual		Suhu Air		LPM
		Voltase	Arus	Volume	Waktu	Awal	Akhir	
	[mLPM]	[Volt]	[Ampere]	[mL]	[detik]	[°C]	[°C]	Q aktual
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

c. *Numbering* termokopel kapsul PCM

Numbering termokopel dilakukan pada kapsul pcm yang terdapat pada penampang A, B, dan C yang terletak dalam kapsul dengan melubangi kapsul dengan bor dan di masukan 0,5 cm, dinding kapsul, dan termokopel yang diarahkan ke air. Pemasangan termokopel bertujuan untuk mengetahui dan memperoleh hasil perbedaan suhu antara termokopel yang terletak didalam pipa kapsul dan diluar kapsul serta yang mengarah ke air pada setiap penampangnya. A yaitu T1, T2, T5, T6, T7, T9, T11, T13 (didalam kapsul PCM), T3, T5, T8, T10, T12 (didinding kapsul PCM), T15, T17, T19, T14, T16, T18, T20, T21, T22 (mengarah ke air). Termokopel pada penampang B yaitu T23 (didalam kapsul PCM) dan T24 (mengarah ke air). Termokopel pada penampang C yaitu T25 (didalam kapsul PCM) dan T26 (mengarah ke air).

d. Pengisian cairan *Paraffin Wax* pada pipa kapsul PCM

Kapsul PCM yang memiliki panjang 70 cm di isi dengan paraffin wax yang sebelumnya sudah dipanaskan sebanyak 121 ml dengan prosentase pengisian sebanyak 70 % dan diberi ruang 30 % yang bertujuan untuk mengurangi tekanan berlebih ketika kapsul PCM yang berisi *paraffin wax* menerima kalor pada saat proses *charging*.

e. Pengecekan kebocoran tangki

Tahap setelah semua terpasang sesuai dengan perencanaan awal yaitu pengecekan kebocoran tangki. Dimana dilakukan dengan pengisian tangki SWH dengan air dari kran hingga penuh. Kemudian pompa dihidupkan yang bertujuan agar air bersirkulasi melewati saluran pipa hingga masuk ke dalam tangki SWH agar dapat mengetahui kebocoran yang terjadi. Setelah semua dipastikan tidak ada kebocoran maka proses pengambilan data dapat dilakukan.

3.4.2. Processing

Tahap kedua merupakan pengambilan data *discharging* mulai dilakukan dengan variasi debit 1, 1,5, 2, 2,5 LPM pada saat setelah proses *Charging* sudah mencapai 70 °C. Proses *Discharging* berlangsung dari suhu 70°C hingga suhu 35°C pada termokopel T35. Suhu dipantau melalui *Applent Temperature Data Logger* AT 4532 dengan menggunakan bantuan laptop.

3.4.3. Post-Processing

Tahap ketiga merupakan tahap pengolahan data mentah, dimana data diperoleh dari pengujian beberapa varian grafik yang berbeda disetiap varian debit. Grafik yang sudah diperoleh kemudian dilakukan analisa guna mengetahui perbedaan hasil pengukuran laju pelepasan kalor secara diskontinyu pada tangki SWH dengan variasi debit yang digunakan adalah 1, 1,5, 2, 2,5 LPM dan kapsul PCM berisi *paraffin wax*.