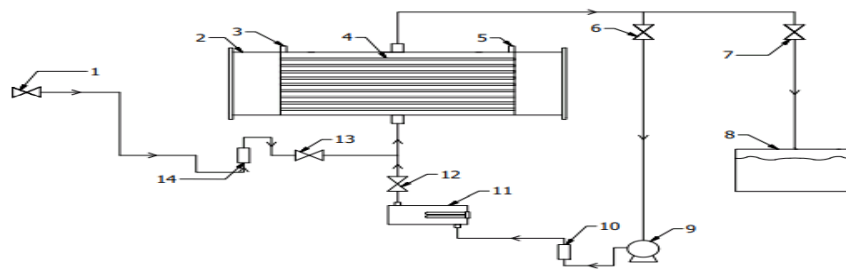


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Alat Penelitian

Pada penelitian ini memerlukan *Solar Water Heater* dengan sistem aktif, yang menggunakan energi thermal pada HTF memerlukan penggunaan pompa dan alat pengontrol lainnya. Skema alat dan gambar keseluruhan SWH dapat dilihat pada **Gambar 3.1.** dan **Gambar 3.2**



Gambar 3.1 Skema Alat

Keterangan nomor pada **Gambar 3.1**:

- (1) Keran air,
- (2) Tangki SWH,
- (3) Lubang masuknya termokopel,
- (4) Pipa tembaga didalam tangki SWH,
- (5) Lubang masuknya termokopel,
- (6) Valve keluaran air dari tangki ke pompa,
- (7) Valve keluaran air dari tangki ke bak,
- (8) Bak penampung air,
- (9) Pompa air,
- (10) Rotameter air,
- (11) Heater pemanas air,
- (12) Valve keluaran air dari heater ke tangki,
- (13) Valve masukan air dari keran ke tangki,
- (14) Rotameter air



Gambar 3.2 *Solar Water Heater*

1. Tangki *Solar Water Heater*

Tangki SWH merupakan tempat menampung air, pemasangan PCM *paraffin wax* serbuk tembaga dan tempat penyimpan panas pada saat proses *charging*. Bagian luar tangki SWH dilapisi dengan aluminium foil dan *glass wool* bertujuan untuk mengurangi pelepasan kalor yang keluar dari dalam tangki (*heat loss*). Bahan yang digunakan untuk membuat tangki adalah *stainless steel*, yang memiliki diameter 300 mm, volume sebesar 60 liter, dan panjang 700 mm. Adapun tangki TES dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Tangki SWH

2. Selang air

Selang air digunakan untuk mengisi air ke dalam tangki SWH pada proses awal sebelum dimulainya pengambilan data *charging*. Adapun selang air dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



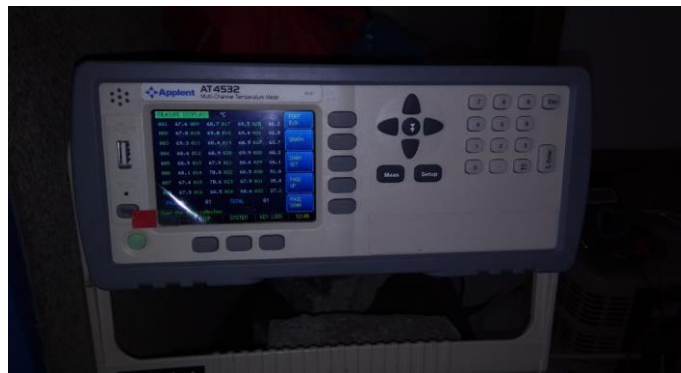
Gambar 3.4 Selang Air

Tabel 3.1 Spesifikasi Selang

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

3. Data logger 32 channel

Data logger 32 channel digunakan untuk membaca suhu atau mengetahui temperatur 32 termokopel didalam tangki SWH. Adapun data logger 32 channel dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.

**Gambar 3.5** Data Logger 32 channel**Tabel 3.2** Spesifikasi Data Logger

No	Aspek	Keterangan
1	Merk	Applent AT4532
2	Jumlah Chanel	32 chanel
3	Dimensi	216mm (L) x 88mm (T) x 300mm (P)
4	Berat	3Kg
5	Akurasi	0.2% + 1°C
6	Rentang Suhu	-200°C~ 1300°C

4. Rotameter air

Variasi debit air yang masuk ke tangki SWH diatur dengan rotameter air. Rotameter air ini dapat mengukur atau mengalirkan air sebesar 1000 mLPM. Adapun rotameter air dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Rotameter Air 1000 mLPM

Tabel 3.3 Spesifikasi Rotameter

No	Aspek	Keterangan
1	Merk	LZT M-15
2	Dual Scala	GPM/LPM
3	Ukuran	Drat 3/4°

5. Pompa Air

Pompa air berfungsi untuk sirkulasi air didalam tangki SWH agar proses pemanasan air terjadi secara menyeluruh. Jenis yang digunakan adalah tipe pompa air elektrik *high pressure* 12V. Adapun pompa air dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Pompa air

Tabel 3.4 Spesifikasi Pompa

No	Aspek	Keterangan
1	Merk	Nagasaki NA-2203-1
2	Voltase	12 V
	Ampere	3 A
3	Aliran	4.5 LPM
4	Tekanan	100I

6. Multimeter

Multimeter berfungsi untuk membaca voltase yang dikeluarkan oleh *voltage regulator*. Adapun multimeter dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8 Multimeter

Tabel 3.5 Spesifikasi Multimer

No	Aspek	Keterangan
1	Merk	LIHUADA MAS830L
2	Max Voltase	600 V
3	Metode Pengukuran	Dual-slope integrotion A/D converter

7. DC Power Supply

Power supply berfungsi untuk mengatur daya pompa air. *Power supply* dapat diatur supaya debit air sesuai dengan variasi pengujian yang akan dilakukan. Adapun *powwer supply* dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.

**Gambar 3.9** DC Power Supply**Tabel 3.6** Spesifikasi DC Power Supply

No	Aspek	Keterangan
1	Merk	WANPTEK KPS3010D
2	Teganan keluaran	30 V
	Arus Keluaran	10 A
3	Dimensi	8.1cm(L) x 16.5 cm(T) x 22 cm (P)
4	Berat	1.9 Kg

8. Voltage Regulator

Voltage regulator berfungsi untuk penghasil tegangan listrik yang kemudian diantarkan ke heater untuk dijadikan sumber panas. Adapun *voltage regulator* dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Voltage regulator

Tabel 3.7 Spesifikasi Voltage regulator

No	Aspek	Keterangan
1	Merk	Krisbow KW20-1222
2	Kapasitas	5 KVA
3	Demensi	24 cm (L) x 31 cm (T) x 24 cm (P)
4	Berat	16 G

9. Valve

Pada proses *charging* dan *discharging* dibutuhkan *valve*. *Valve* berfungsi untuk membuka dan menutup aliran air. Adapun katup dapat dilihat pada **Gambar 3.11**



Gambar 3.11 Katup

10. Timbangan Digital

Pada penelitian ini timbangan digital digunakan untuk menimbang serbuk tembaga . adapun gambar timbangan digital dapat dilihat pada **Gambar 3.12**



Gambar 3.12 Timbangan Digital

Tabel 3.8 Spesifikasi Timbangan tembaga

No	Aspek	Keterangan
1	Kapasitas	10 Kg
2	Ketelitian	1g
3	Power	2 baterai
4	Ukuran	25 x 17 x 4 Cm

11. *Magnetic stirrer*

Mixer adalah alat yang berfungsi untuk mencampur *paraffin wax* dengan serbuk tembaga. *Mixer* dilengkapi dengan *heater* sehingga saat *paraffin wax* cair dicampurkan dengan Cu, *paraffin wax* tidak langsung membeku.

Spesifikasi dan gambar dari *mixer* dapat dilihat pada **Gambar 3.13**



Gambar 3.13 *Magnetic stirrer*

Tabel 3.9 Spesifikasi magnetic stirrer

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Daya	34 Watt
2	<i>Continuous run time</i>	600 hours
3	Kapasitas	1 liter

12. Saringan Mesh 200

Saringan mesh 200 adalah alat yang berfungsi untuk menyaring serbuk tembaga agar memiliki bentuk dan ukuran yang sama sehingga saat dicampur dengan *paraffin wax*, serbuk tembaga bisa merata. Berikut gambar dari saringan mesh 200 dapat dilihat pada gambar 3.18.



Gambar 3.14 Saringan Mesh 200

3.2 Bahan Penelitian

Ada beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu air biasa (SHS), campuran *paraffin wax* dan serbuk tembaga 20%. Berikut penjelasan dari bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

3.2.1 Air

Air yang digunakan pada penelitian ini ialah air biasa (SHS) yang berfungsi sebagai *heat transfer fluid* (HTF). *Properties* dari air dapat dilihat pada tabel 3.11.

Tabel 3.10 Properties Air (Cengel, 2003)

Air	
<i>Boiling Point</i> (°C)	100
<i>Laten Heat of Vaporization</i> (kJ/kg)	2257
<i>Freezing Point</i> (°C)	0
<i>Laten 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

3.2.2 *Paraffin Wax* Lokal

Paraffin wax lokal yang digunakan pada penelitian ini akan dicampur dengan serbuk tembaga yang berfungsi sebagai PCM. *Paraffin wax* lokal yang digunakan perlu diketahui sifat fisik dan sifat termalnya 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 dilakukannya pengujian menggunakan metode pengujian DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). Tabel hasil uji DSC dapat dilihat pada tabel 3.11 dan 3.12, gambar dari *paraffin wax* lokal dapat dilihat pada gambar 3.15 dan gambar grafik hasil uji DSC dapat dilihat pada gambar 3.16.

Tabel 3.11 Hasil Uji DSC pada Paraffin Wax- CU 20%

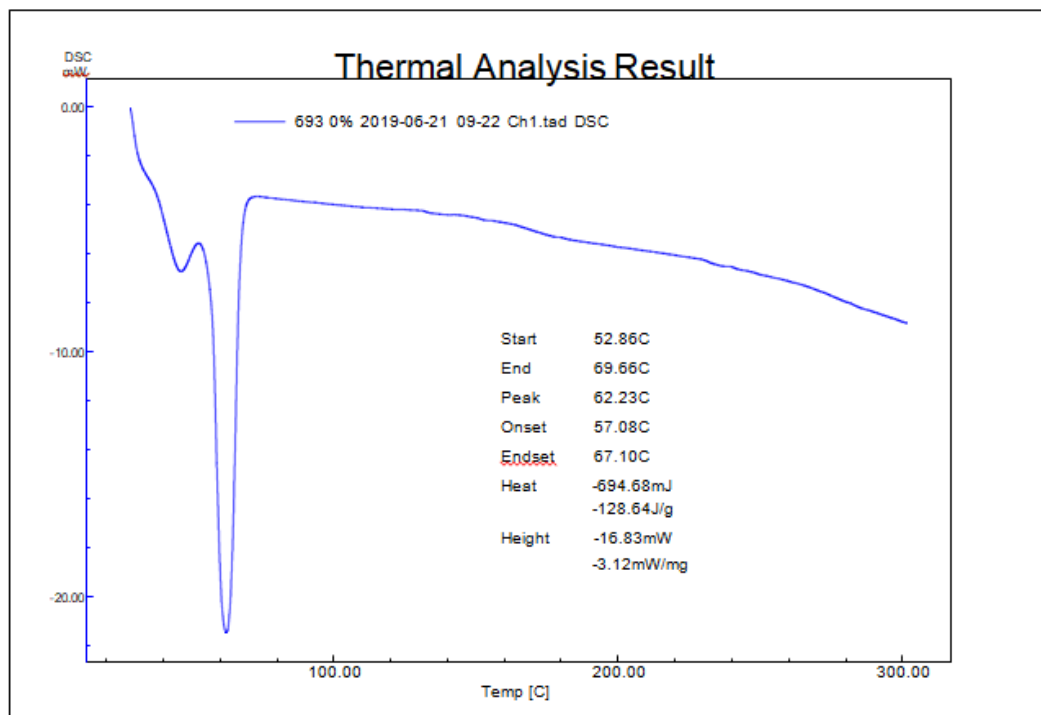
[File Information]		[Temp Program]	
File Name:	693 20% 2019-06-21 13-35 Ch1.tad	Start Temp [°C]	30
Sample Name:	20%	Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	693	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date:	2019/06/21	Hold Time [min]	0
Acquisition Time:	13:35:08(+0700)	Gas	Nitrogen
Detector:	DSC-60		
Serial No:	C30935200137SA		
Operator:	Heri		
Atmosphere:	Nitrogen		
Flow Rate:	30[ml/min]		
Cell:	Aluminum Seal		
Sample Weight:	4.900[mg]		
Molecular Weight:	0.00		

Tabel 3.12 Hasil Uji DSC Paraffin wax- Cu 20%

[DSC Peak]	1
Peak	
[°C]	61.61
Onset	
[°C]	58.03
Endset	
[°C]	66.17
Heat	
mJ	-526.08
J/g	-107.36
Height	
mW	-15.42
mW/mg	-3.15



Gambar 3.15 Paraffin Wax Lokal



Gambar 3.16 Hasil Uji DSC Paraffin Wax- CU 20%

3.2.3 Paraffin Wax Rubitterm 60

Paraffin wax rubitterm 60 adalah *paraffin* yang memiliki *melting point* 60°C. Dari yang didapatkan dari hasil pengujian DSC pada *paraffin wax* lokal diperoleh hasil *melting point* sebesar 62°C. Dari hasil itu dapat disimpulkan bahwa pada penelitian *paraffin wax* lokal diasumsikan seperti RT60 karena memiliki *melting point* hampir sama sehingga dari asumsi tersebut dapat diperoleh spesifikasi

termal lainnya yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan dalam penelitian ini, dan juga untuk mengetahui kemampuan dari karakteristik termal pada *paraffin wax* lokal yang digunakan. Spesifikasi dari *paraffin wax* RT60 dapat dilihat pada tabel 3.14.

Tabel 3.1 Spesifikasi Paraffin Wax RT 60 (Rubitherm phase change material)

Paraffin Wax RT 60	
Temperatur leleh (°C)	55-61 [°C] Titik puncak : 60 [°C]
Temperatur beku (°C)	61-55 [°C] Titik puncak : 61 [°C]
Kapasitas penyimpanan panas $\pm 7,5$ %	160 [kJ/kg]
Kombinasi panas laten dan panas sensible 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 (fase kedua)	0,2 [W/(m.K)]
Volume ekspansi	12,5 [%]
Titik nyala	>200 [°C]
Maksimum suhu operasi	80 [°C]

3.2.4 Serbuk Tembaga Mesh 200

Serbuk tembaga mesh 200 didapat dari pengayakan dengan menggunakan saringan yang memiliki spesifikasi mesh 200. Spesifikasi mesh 200 yaitu terdapat 200 lubang dalam luasan saringan 1 inchi², sehingga menghasilkan serbuk tembaga yang halus. Serbuk tembaga yang didapatkan tidak dikategorikan sebagai nano material karena ukuran tidak mencapai mesh 1250. Gambar dari serbuk tembaga dapat dilihat pada gambar 3.23.

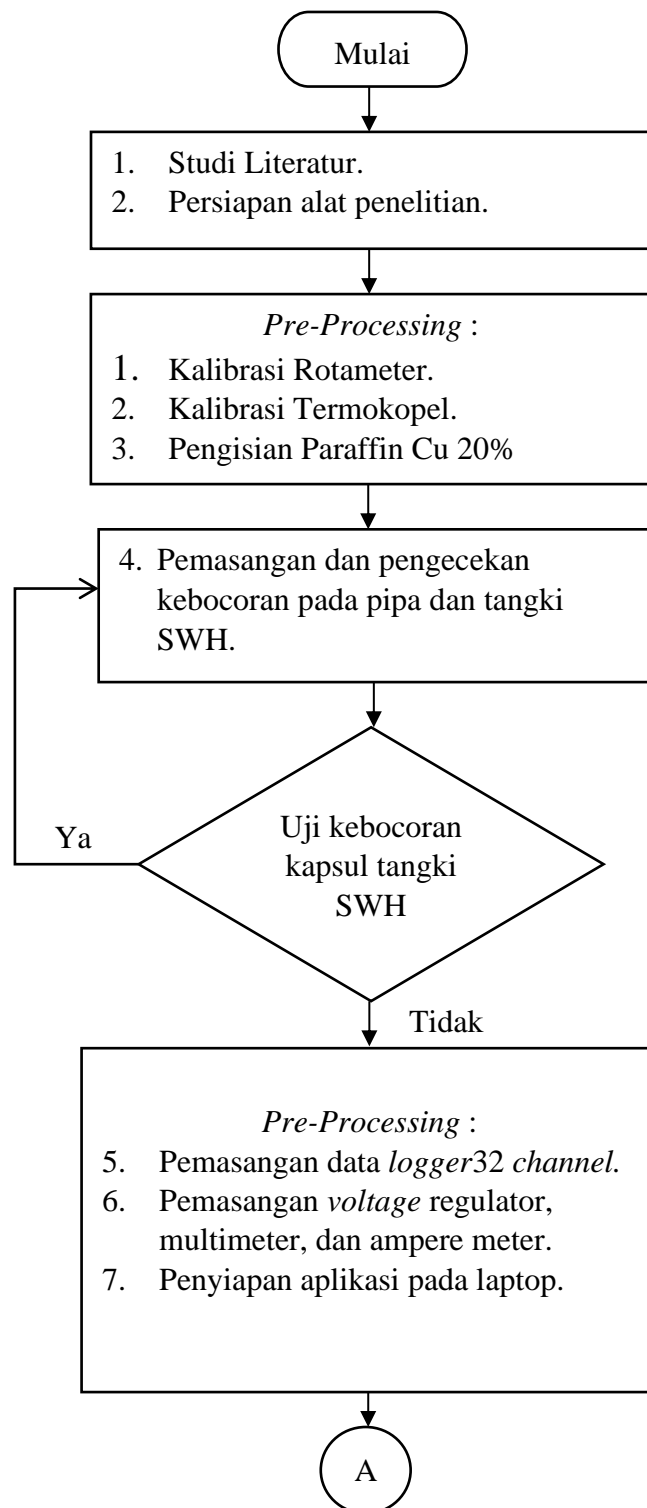


Gambar 3.17 Serbuk Tembaga

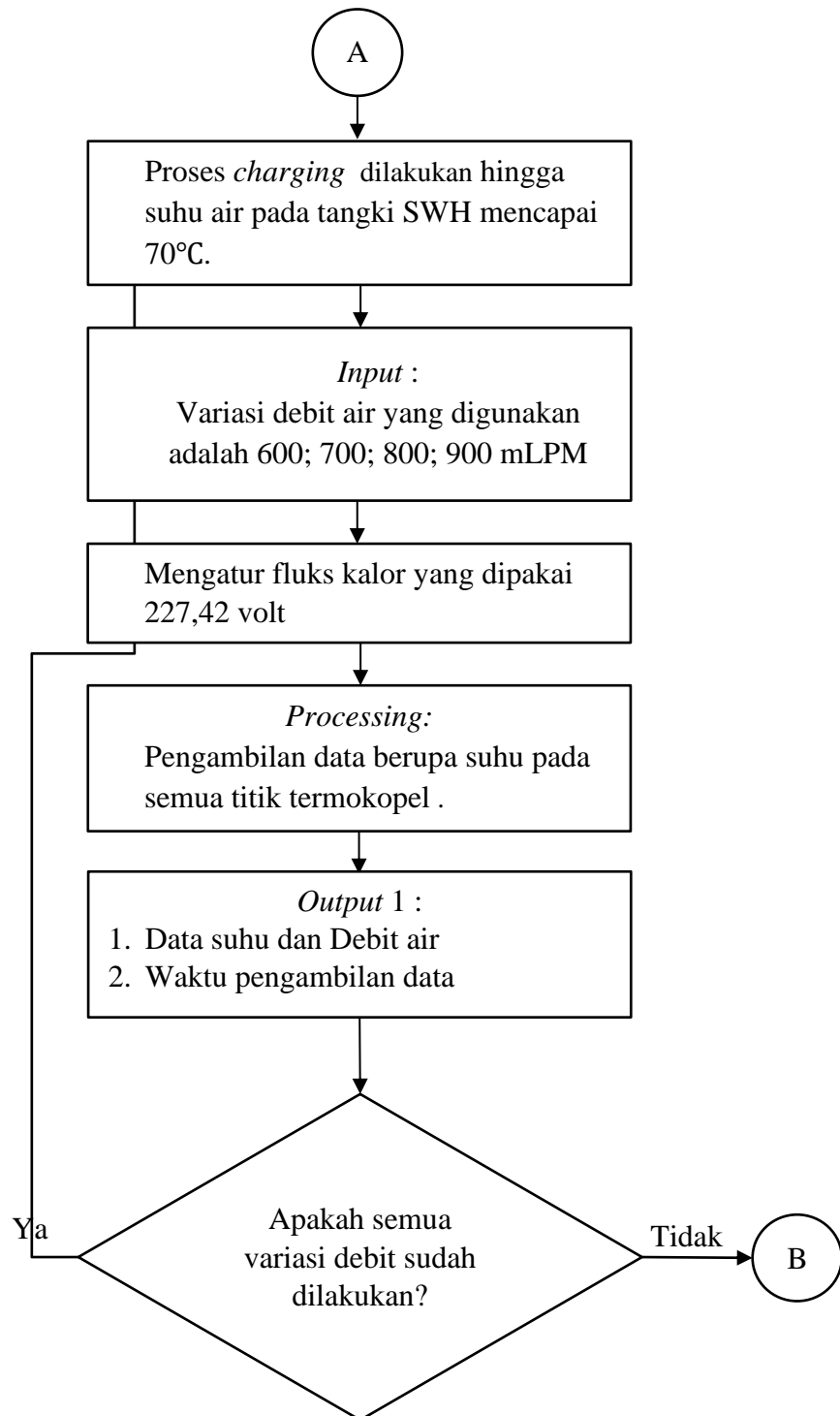
3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Diagram Alir Penelitian

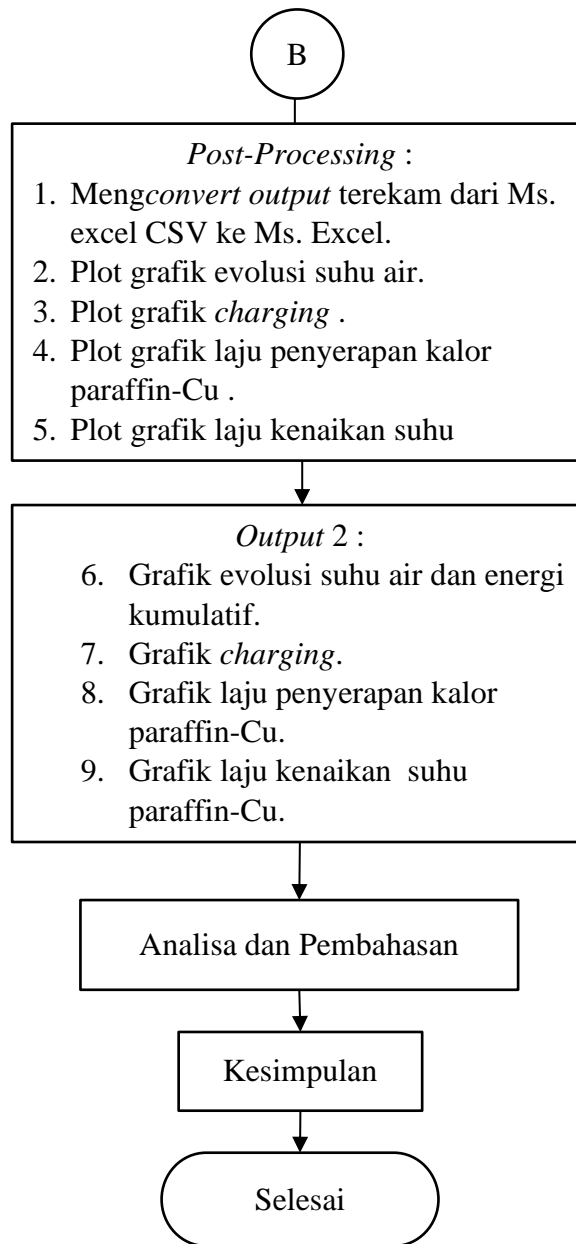
Proses penelitian dapat dilihat pada diagram alir yang terdapat pada **Gambar 3.16** berikut ini.



Gambar 3.18 Diagram Alir Penelitian Gambar



Gambar 3.19 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



Gambar 3.20 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.3.2 Langkah Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dengan cara mencari referensi teoridan jurnal yang berkaitan dengan kasus serta berdiskusi dengan pembimbing. Selanjutnya melakukan tahap penelitian yang *terbagi* menjadi tiga proses yaitu *pre-processing, processing, dan post processing*.

3.3.2.1. *Pre-processing*

Pre-processing adalah tahap awal yang perlu dilakukan sebelum melakukan penelitian. Tahap pertama yang dilakukan adalah kalibrasi rotameter 1000 mLPM, kalibrasi termokopel, kalibrasi *heater*, pemasangan termokopel pada strimin, pemasangan strimin ke dalam tangki, dan uji kebocoran pada tangki saat berisi air.

a. Kalibrasi termokopel

Kalibrasi termokopel dilakukan untuk menentukan kebenaran nilai alat ukur dengan cara membandingkan antara termokopel dengan standar nasional. Setelah melakukan kalibrasi, dapat diketahuilah seberapa jauh perbedaan antara termokopel data logger *32channel* dengan termokopel. **Tabel 3.12** merupakan hasil kalibrasi termokopel.

Tabel 3.15 Hasil Kalibrasi Termokopel

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

b. Kalibrasi rotameter 1000 mLPM

Kalibrasi ini dilakukan untuk menentukan kebenaran nilai alat ukur. Kalibrasi dimulai dengan mengatur mPLm pada rotameter. Selanjutnya siapkan *stopwatch* untuk menghitung waktu pengisian air dalam gelas ukur 100 mL. Pada saat gelas terisi penuh *stopwatch* akan diberhentikan dan waktu yang tertera pada *stopwatch* dicatat untuk menghitung debit aktualnya. Kalibrasi dilakukan dari 100 mLPM sampai 1000 mLPM, debit aktual dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

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

dimana V merupakan volume dari gelas ukur (mL), s merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi gelas ukur (detik). 60 dan 1000 adalah bilangan untuk mengubah ke dalam mLPM. Setelah perhitungan maka akan didapat hasil Q aktual. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa terdapat persamaan yang didapat dari variasi debit mLPM dan Q aktual yaitu $y = 0,921x - 51,75$ serta hasil $R^2 = 0,956$. Persamaan $y = 0,921x + 51,75$ 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

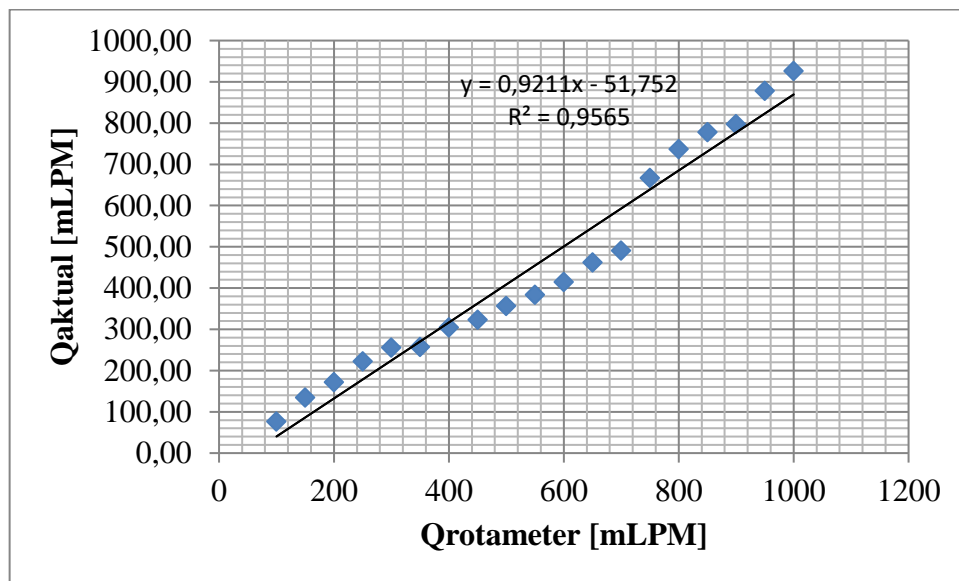
akurat jika nilai $R^2 = 1$, tetapi pada hasil kalibrasi ini mendapatkan nilai R^2 sebesar 0,956 yang artinya tetap dianggap akurat karena hasil tersebut mendekati angka 1. **Tabel 3.16** adalah hasil perhitungan Q aktual.

$$y = 0,921x + 51,75 \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{aktual}} = 0,921 \times Q_{\text{rotameter}} + 51,75 \quad (3.3)$$

Tabel 3.16 Kalibrasi rotameter 1000 mLPM

No.	Rotameter	DC Power Supply		Debit Aktual		Suhu Air		mLPM
		Voltase	Arus	Volume	Waktu	Awal	Akhir	
	[mLPM]	[Volt]	[Ampere]	[mL]	[detik]	[°C]	[°C]	Q aktual
1	100	8,5	1,28	100	78,16	27	27	76,77
2	150	8,5	1,26	100	44,6	27	27	134,53
3	200	8,5	1,23	100	34,83	27	27	172,27
4	250	8,5	1,2	100	27	27	27	222,22
5	300	8,5	1,23	100	23,45	27	27	255,86
6	350	8,5	1,2	100	23,29	27	27	257,62
7	400	8,5	1,19	100	19,7	27	27	304,57
8	450	8,5	1,18	100	18,55	27	27	323,45
9	500	8,5	1,17	100	16,82	27	27	356,72
10	550	8,5	1,16	100	15,62	27	27	384,12
11	600	8,5	1,15	100	14,45	27	27	415,22
12	650	8,5	1,14	100	12,97	27	27	462,61
13	700	8,5	1,12	100	12,22	27	27	491,00
14	750	8,5	1,06	100	8,99	27	27	667,41
15	800	8,5	1,05	100	8,14	27	27	737,10
16	850	8,5	1,03	100	7,71	27	27	778,21
17	900	8,5	1,02	100	7,52	27	27	797,87
18	950	8,5	1,01	100	6,83	27	27	878,48
19	1000	8,5	0,99	100	6,48	27	27	925,93



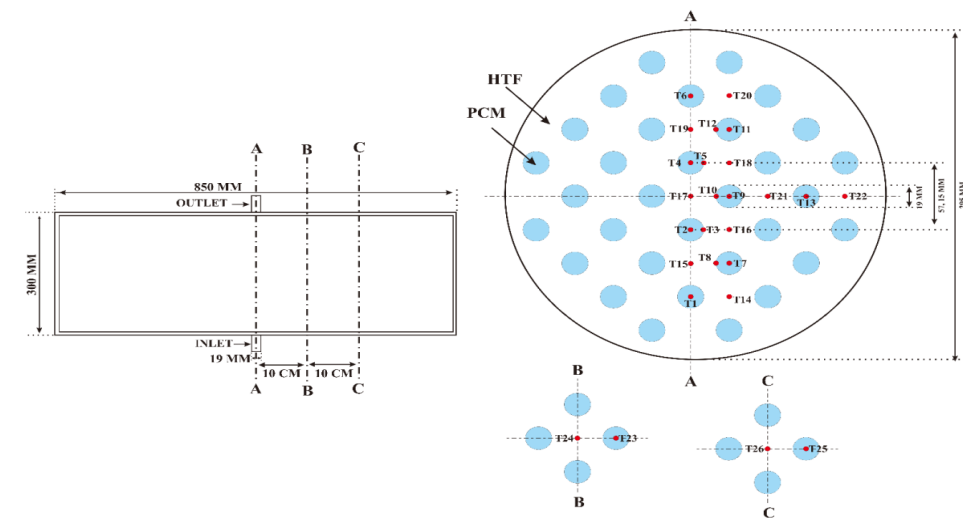
Gambar 3.21 Grafik kalibrasi rotameter

c. Pengisian *Paraffin* Cu 20%

Pipa tembaga diisi dengan campuran *paraffin* dan serbuk tembaga 20%. Pengisian pada pipa diberi ruang 30% dari total pipa tembaga dan 70% sisa volume tabung pipa diisi dengan campuran *paraffin* Cu 20%.

d. Pemasangan termokopel

Pemasangan termokopel pada pipa tembaga dilakukan setelah *paraffin* Cu 20% diisi, bagian pipa tembaga dibor pada bagian yang sudah ditetapkan. Pemasangan termokopel mengikuti **Gambar 3.22**.



Gambar 3.22 Letak penempatan termokopel

e. Pengecekan kebocoran tangki

Pengecekan dilakukan dengan cara tangki diisi air dari kran sampai udara didalam tangki tidak ada, kemudian pompa dihidupkan bertujuan untuk mengecek instalasi selain tangki apakah ada kebocoran atau tidak. Setelah semua instalasi dipastikan tidak ada kebocoran maka dapat dilanjutkan dengan pengambilan data.

3.3.2.2. *Processing*

Processing dilakukan selama proses *charging* untuk mendapatkan data T24 mencapai suhu target 70°C. Suhu terpantau melalui *data logger*, pada saat sudah mencapai target suhu maka *charging* akan di stop dilanjutkan dengan *discharging*. Hal ini berkelanjutan sampai semua variasi selesai di uji.

3.3.2.3. *Post-processing*

Post-processing yaitu mengelolah data, dari data *logger* dalam bentuk file ms. excel. Setelah melakukan olah data maka didapatkan *output* berupa grafik distribusi suhu pada penampang, grafik *charging*, grafik penyerapan kalor air, grafik kenaikan suhu air, grafik komulatif *heater*. Setelah semua *output* didapat, maka lanjut ketahap analisa dan pembahasan *output* serta kesimpulan untuk pengujian yang telah dilakukan.