

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1. Alat Penelitian**

Penelitian ini memerlukan alat untuk mendukung pada pengambilan data berupa perangkat keras (*hardware*). Perangkat keras (*hardware*) dalam penelitian ini ada beberapa alat yaitu:

a. Tangki TES

Tangki TES dilapisi dengan *glass wool* dan aluminium foil untuk mengurangi panas yang keluar dari dalam tangki atau *heat loss*. Tangki tersebut pada penelitian ini digunakan untuk tempat pemasangan PCM *paraffin wax* dan serbuk tembaga saat proses *discharging*. Tangki TES ini terbuat dari bahan *stainless steel* memiliki panjang 850 mm, diameter 300 mm, dan volume sebesar 60 liter. Tangki TES yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Tangki TES

b. Laptop

Laptop digunakan untuk mengoperasikan aplikasi saat percobaan dilakukan dan untuk memudahkan saat pengambilan data. Laptop yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

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 3.2. Laptop

c. *Data logger*

*Data logger* digunakan untuk membaca atau mengetahui temperatur 32 termocouple yang terpasang pada alat. Alat ini mampu membaca 32 chanel *Data logger* yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Applent Temperature Data logger

Tabel 3.2. Spesifikasi Data *Logger*

No.	Aspek	Penjelasan
1	Merk	Applent AT4532
2	Jumlah Chanel	32 ( <i>available</i> 128)
3	Dimensi	216mm (L) x88mm (T) x300mm (P)
4	Berat	3 kg
5	Akurasi	0.2% + 1 °C
6	Rentang suhu	-200 ° C ~ 1300 ° C

## d. Voltase regulator

Voltase regulator digunakan untuk mengatur voltase yang masuk kedalam tabung heater sehingga menghasilkan panas yang diharapkan. Voltase regulator yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.

**Gambar 3.4.** Voltase Regulator

Tabel 3.3. Spesifikasi Voltase Regulator

No.	Aspek	Penjelasan
1	Merk	Krisbow KW20-1222
2	kapasitas	5 KVA
3	Dimensi	24 cm (L) x 31 cm (T) x 24 cm (P)
4	Berat	16 kg

e. DC power supplay

DC *Power supplay* digunakan untuk mengatur daya pompa air. Power supplay diatur sesuai dengan debit yang akan di lakukan pengujian. DC power supplay yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5.** DC *Power Supply*

Tabel 3.4. Spesifikasi DC *Power Supply*

No.	Aspek	Penjelasan
1	Merk	WANPTEK KPS3010D
2	Tegangan keluaran	30 V
3	Arus Keluaran	10 A
4	Dimensi	8.1 cm (L) x 16.5 cm (T) x 22 cm (P)
5	Berat	1.9 kg

f. Pompa DC 12 V

Pompa DC 12 V digunakan untuk memompa air saat siklus charging sedang berlangsung. Pompa DC yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6.** Pompa DC 12 V

Tabel 3.5 Spesifikasi Pompa DC

No.	Aspek	Penjelasan
1	Merk	Nagasaki NA-2203-1
2	Voltase	12 V
3	Ampere	3 A
4	Aliran	4.5 LPM
5	Tekanan	100 PSI

g. Selang Air

Selang air digunakan untuk mengalirkan air dari kran ke tangki SWH sebelum proses charging berlangsung. Selang air yang digunakan berdiameter  $\frac{1}{4}$  in dengan panjang 12 meter. Selang air yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7.** Selang Air

h. Rotameter Air

Rotameter air berfungsi sebagai pengatur variasi debit air yang masuk ke tangki SWH. Debit air maksimal yang dapat terukur oleh rotameter air ini adalah 1000 mLPM. Rotameter yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.

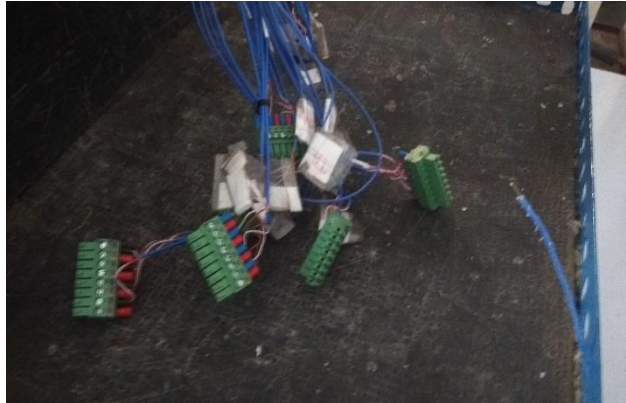


**Gambar 3.8.** Rotameter 1000 mLPM

i. Termokopel

Termokopel digunakan untuk mengukur suhu air, suhu pipa, suhu pada campuran parafin-Cu dan suhu yang dijadikan variabel yang berada dalam pipa pada tangki SWH. Termokopel dipasang di dalam pipa, permukaan pipa, dan diluar pipa dan pada tempat yang variabel suhunya ingin diketahui yang jumlahnya 32 buah. Sebelum digunakan, termokopel dikalibrasi

terlebih dahulu untuk mengetahui suhu sebenarnya. Kabel termokopel yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 3.9.



**Gambar 3.9.** Kabel Termokopel

j. Multimeter

Multimeter digunakan untuk membaca voltase yang dikeluarkan oleh *voltage regulator*. Multimeter yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10.** Multimeter

Tabel 3.6 Spesifikasi Multimeter

No.	Aspek	Penjelasan
1	Merk	LIHUADA MAS830L
2	Max Voltase	600 V
3	Metode Pengukuran	Dual-slope integration A/D converter
4	Perlindungan Sekering	F 200 mA / 250 V
5	Display	LCD

### k. Clamp Meter

Clamp Meter digunakan untuk membaca arus yang dikeluarkan oleh voltase regulator. Clamp meter yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11.



**Gambar 3.11.** *Clamp Meter*

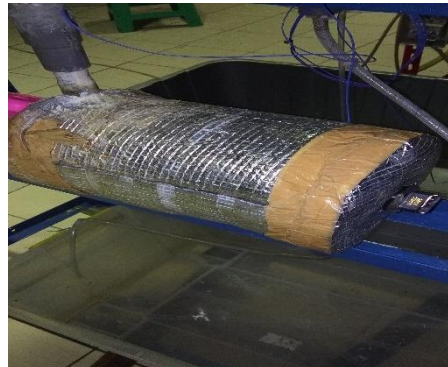
Tabel 3.7 Spesifikasi *Clamp Meter*

No.	Aspek	Penjelasan
1	Merk	DT3266L
2	<i>AC current range</i>	20 A / 200 A / 600 A
3	<i>Resistance range</i>	2k $\Omega$ / 20k $\Omega$ / 2M $\Omega$
4	DC voltase	600 V
5	AC voltase	600 V

### l. Tabung Heater

Tabung heater digunakan untuk memanaskan air yang dipompa kedalam tangki saat proses charging berlangsung. Tabung berdimensi dengan diameter 15 cm, panjang 25 cm, volume 4.42 liter dan ditenagai *immersion heater* 1500 W Tabung heater yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12.





**Gambar 3.12.** Tabung *Heater*

m. Bak Penampung

Bak penampung digunakan untuk menampung air yang akan dikeluarkan ketika proses discharging berlangsung. Bak penampung berukuran panjang 76 cm, lebar 53 cm, tinggi 45 cm dan bervolume 150 Liter. Bak penampung yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 3.13.



**Gambar 3.13.** Bak Penampung

### 3.2. Bahan Penelitian

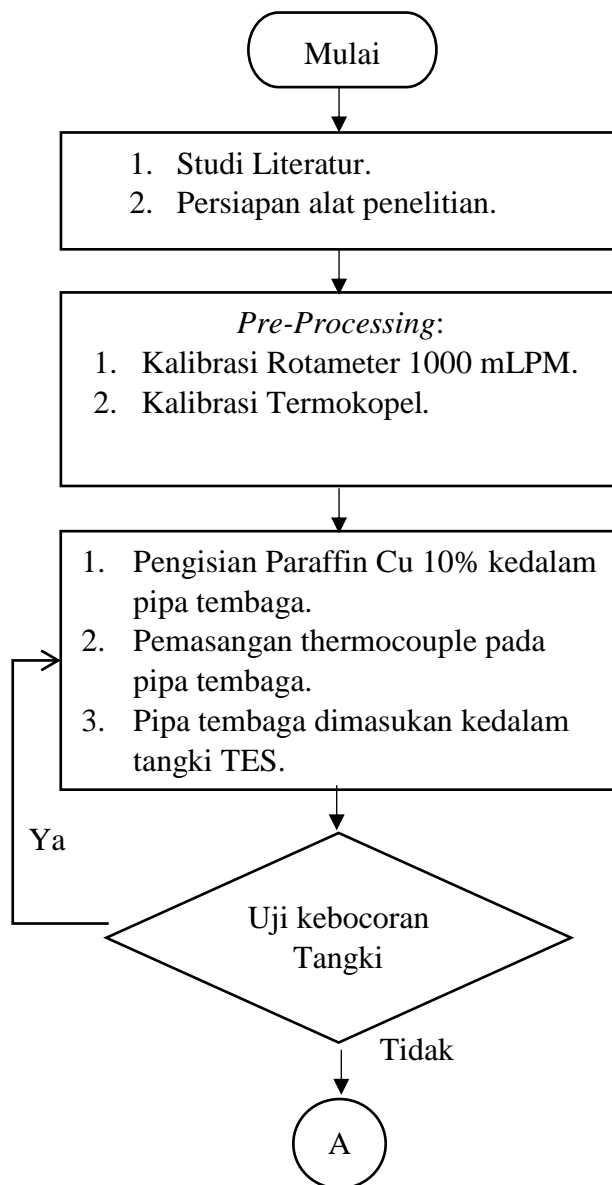
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air biasa (SHS) sebagai *heat transfer fluid* (HTF), serbuk tembaga 10% berat, dan *paraffin wax* sebagai *phase change material* (PCM). Air sebagai *heat transfer fluid* (HTF), serbuk tembaga 10% berat, dan *paraffin wax* sebagai *phase change material* (PCM) akan dimasukkan ke dalam tangki TES saat penelitian dimulai.

### 3.3. Prosedur Penelitian

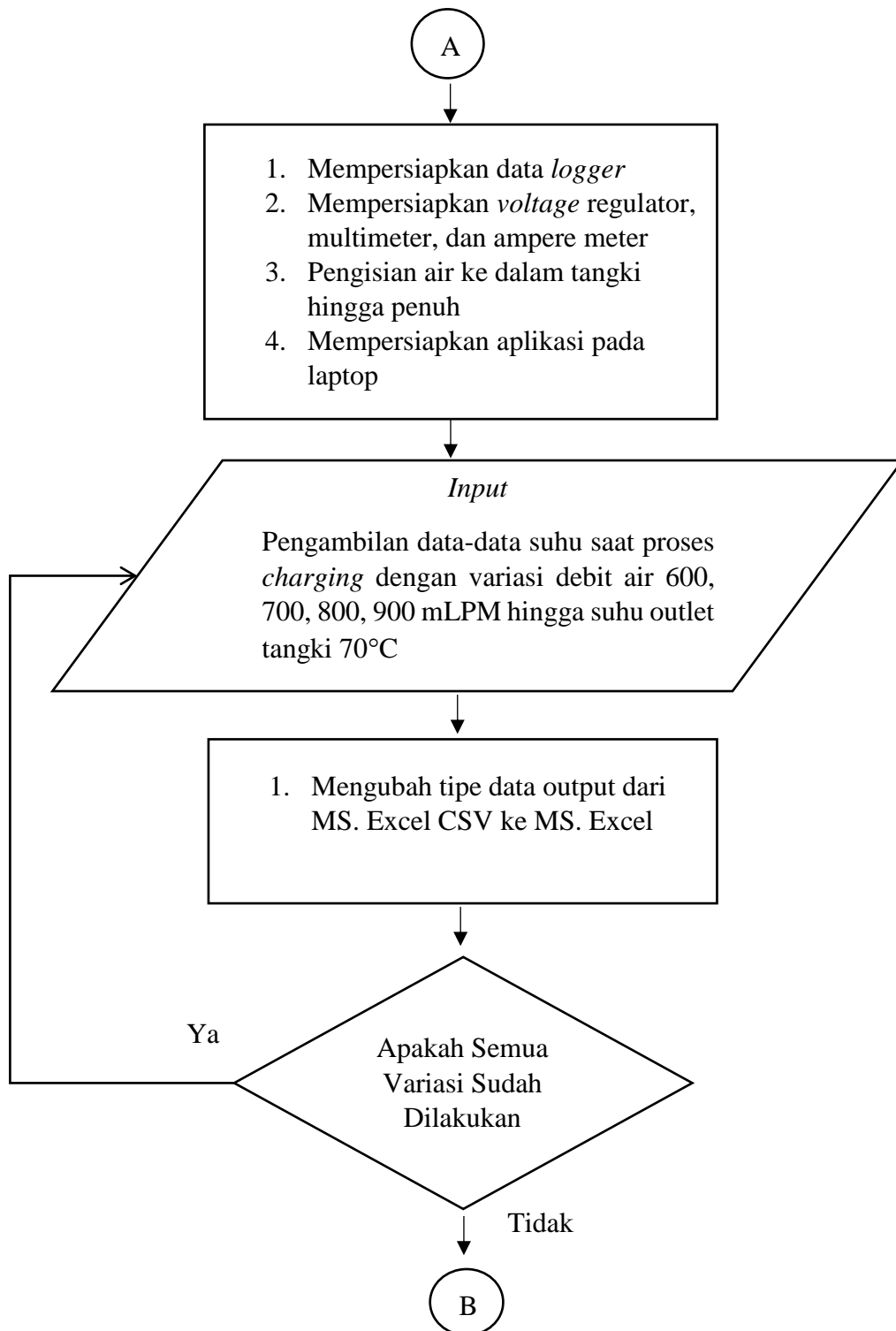
#### 3.3.1. Variasi Penelitian

Variasi penelitian menggunakan variasi debit air. Variasi ini memiliki empat macam debit air yaitu 600; 700; 800; 900 mLPM.

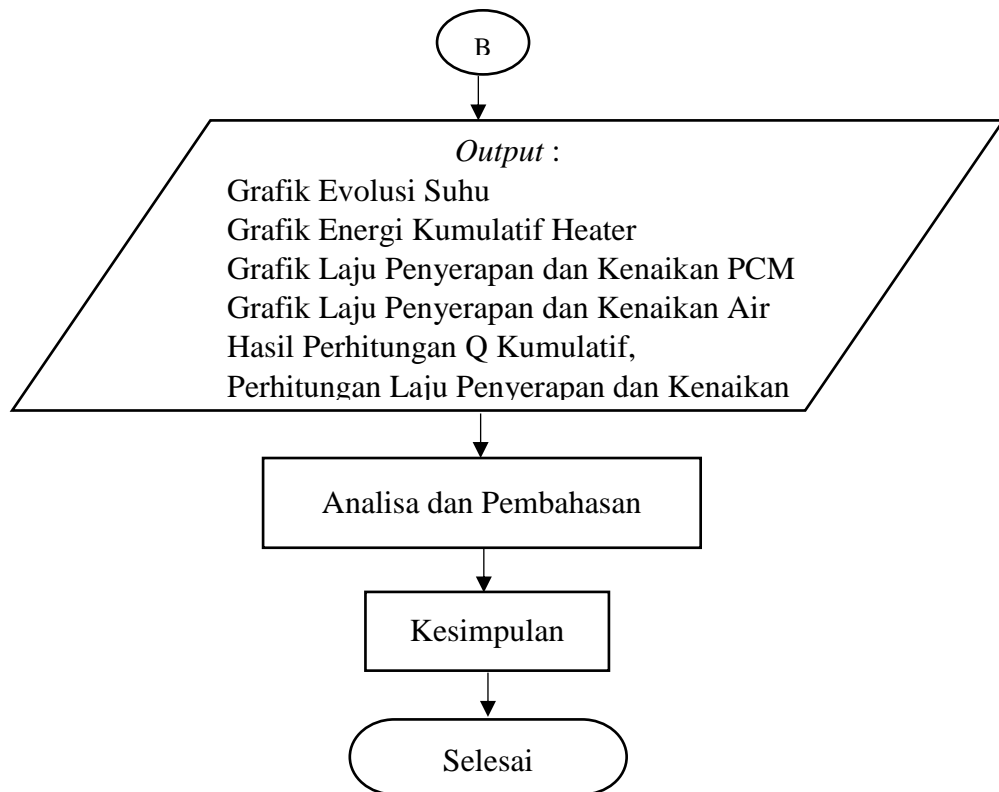
#### 3.3.2. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.14.** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.15.** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.16.** Diagram Alir Penelitian

### 3.3.3. Langkah Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur pada suatu kasus. Studi literatur dilakukan untuk melihat perkembangan yang belum dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Pada dasarnya proses penelitian ini dibagi menjadi 3 yaitu, *Pre-Processing*, *Processing*, dan *Post-Processing*.

#### 3.3.3.1 *Pre-Processing*

*Pre-Processing* adalah tahap awal yang perlu dilakukan sebelum memulai penelitian. Pada tahapan ini terdiri dari kalibrasi rotameter 1000 mLPM, *termocouple*, *heater*, pengisian *paraffin Cu* 10% pada pipa tembaga, pemasangan *termocouple* pada pipa tembaga dan pengecekan kebocoran pada tangki saat berisi air.

##### a. Kalibrasi rotameter 1000 mLPM

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)

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

Dimana  $Q_{\text{aktual}}$  didapat dari nilai 0.9211 dikalo dengan  $Q_{\text{rotameter}}$  yang tertera pada alat kemudian dikurangi dengan nilai 51.752. Setelah melakukan perhitungan maka akan didapat  $Q_{\text{aktual}}$  yang dapat dilihat pada tabel 3.2.

**Tabel 3.8.** Hasil 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

b. Kalibrasi *Termocouple*

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. Temperatur aktual pada termokopel didapat melalui persamaan (3.2)

$$y = mx + c \quad \text{pers (3.2)}$$

Dimana  $y$  adalah titik potong pada sumbu  $y$ ,  $m$  adalah konstanta gradien dan  $c$  adalah titik potong garis dengan sumbu  $-y$ . Setelah melakukan kalibrasi, bisa diketahui seberapa jauh perbedaan antara *termocouple data logger 32 chanel* dengan termometer. Hasil dari kalibrasi *termocouple* dapat dilihat pada tabel 3.9.

**Tabel 3.9.** Kalibrasi *Termocouple*

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

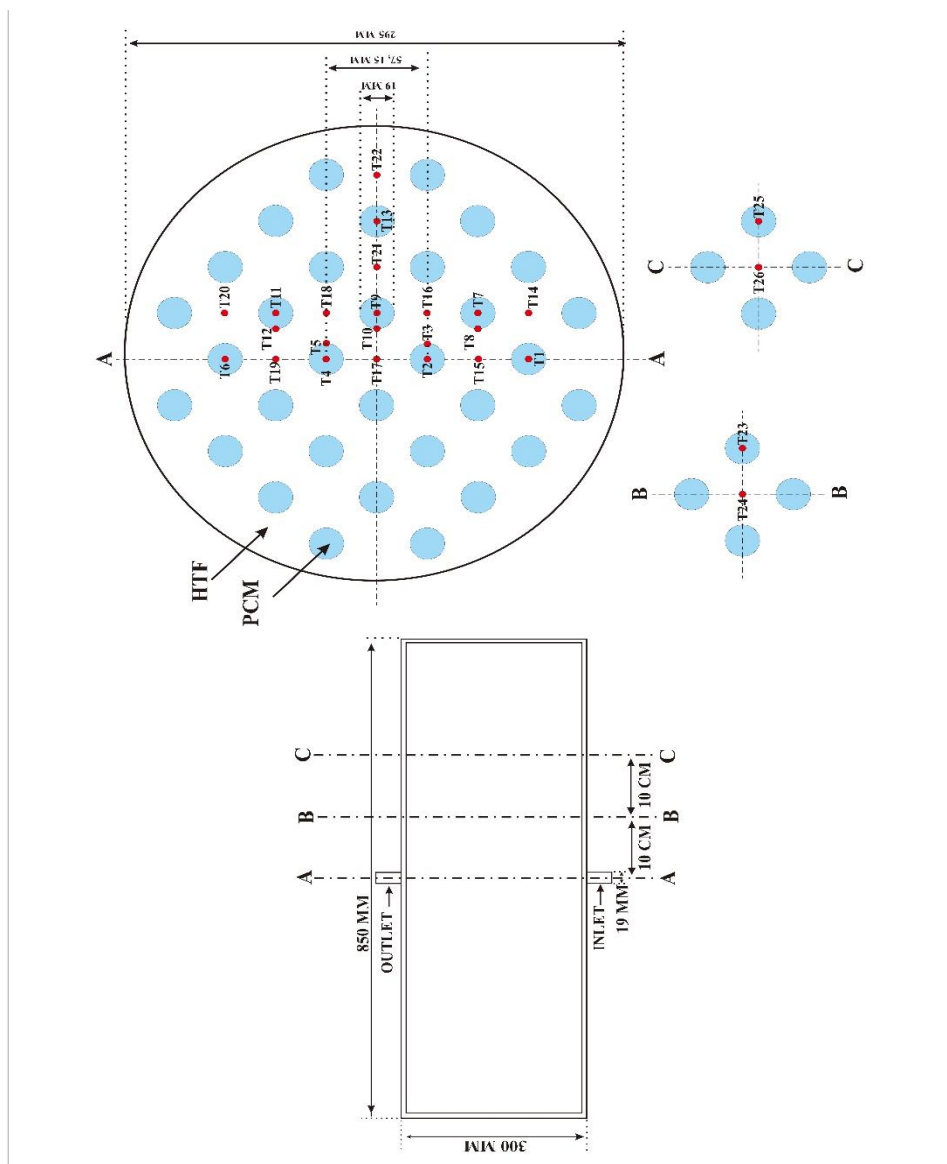
c. Pengisian *Paraffin* Cu 10%

Penelitian ini menggunakan PCM campuran paraffin dengan serbuk tembaga 10%. Pengisian pada pipa tembaga diberi ruang 30% dari ruang

total pipa tembaga tersebut dan Cu 10% diambil dari 70% total seluruh volume tabung.

d. Pemasangan *Termocouple*

Pemasangan *termocouple* pada pipa tembaga dilakukan setelah pengisian *paraffin* Cu 10% selesai dengan mengebor pipa tembaga pada bagian yang sudah ditetapkan. Letak pemasangan termocouple mengikuti gambar desain penempatan *termocouple* yang ditunjukkan pada gambar 3.14



Gambar 3.17 Desain Penempatan *Termocouple*

e. Pengecekan Kebocoran Tangki

Tahap setelah pemasangan termocouple adalah pengecekan kebocoran tangki. Pengecekan disini dilakukan dengan cara tangki diisi dengan air dari kran sampai udara didalam tangki tidak ada kemudian pompa dihidupkan. Pompa dihidupkan bertujuan agar mengecek instalasi selain tangki ada kebocoran atau tidak, setelah semua instalasi dipastikan tidak ada kebocoran maka dapat dilanjutkan dengan pengambilan data.

### 3.3.3.2 *Processing*

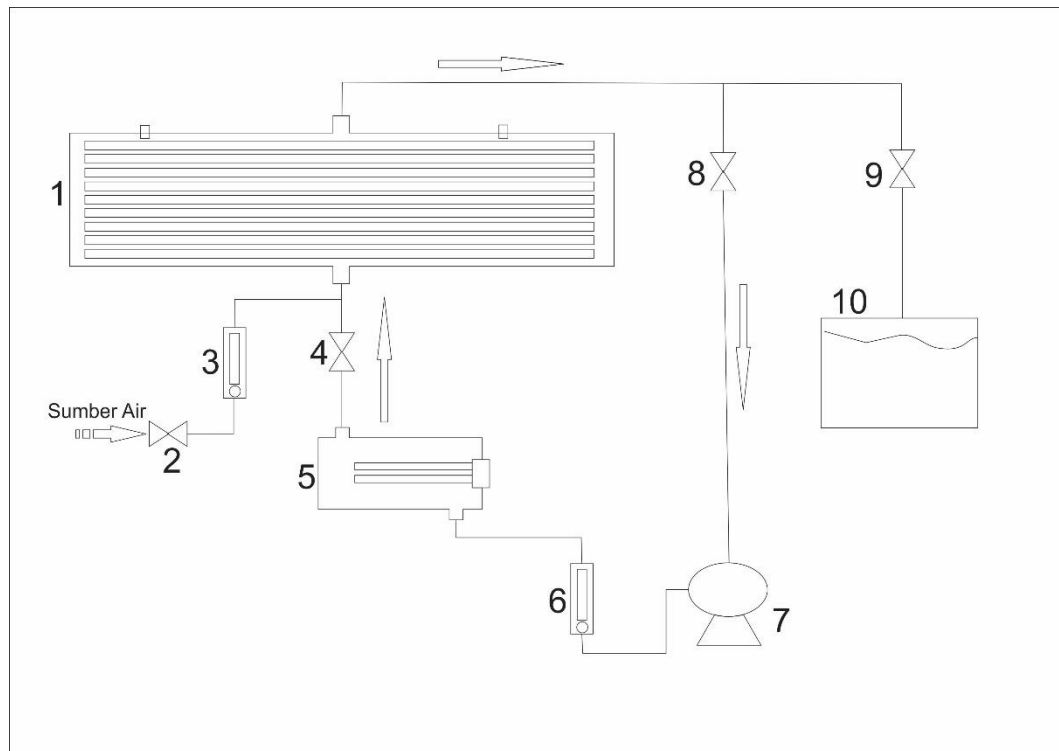
Tahap kedua yaitu *processing* yang dilakukan adalah pengambilan data saat proses *charging* selesai atau sudah mencapai *temperature* 70 °C. Pada proses ini *termocouple* 28, 31 dan 32 merupakan indikator dalam pengambilan data.

### 3.3.3.3 *Post-Processing*

Setelah selesai melakukan pengambilan data tahap selanjutnya yaitu melihat data mentah dari *data logger* 32 chanel dalam bentuk excel. Excel dari data logger kemudian kita olah menjadi grafik dan analisa grafik tersebut.



### 3.3.4. Skema Proses charging



**Gambar 3.18** Skema Proses Charging

Keterangan:

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

Pertama-tama air diisikan dari sumber air ke seluruh bagian skema proses charging dengan membuka katub *discharging* A dan katub *charging*. Ketika seluruh bagian sudah penuh terisi oleh air maka katub *discharging* A akan ditutup. Pompa DC akan memompa air menuju rotameter untuk diatur debitnya dan

kemudian air menuju heater. Air yang sudah dipanaskan dari heater kemudian menuju tangki sehingga terjadi proses charging. Air selanjutnya keluar menuju pompa kembali dan begitu seterusnya selama siklus charging. Proses *charging* ini akan dihentikan ketika suhu di daerah outlet tangki mencapai 70 °C.

Proses *discharging* dimulai sesaat setelah proses charging selesai. Persiapan proses *discharging* dimulai dengan mematikan voltase regulator, kemudian menutup katub charging A dan B. Tahap selanjutnya membuka katub *discharging* A dan B sehingga air dari sumber air akan mengalir melalui katub *discharging* A untuk kemudian diatur debitnya melalui rotameter sebelum masuk kedalam tangki. Air panas hasil *charging* akan mengalir keluar menuju bak penampung melalui katub *discharging* B. Proses *discharging* ini akan berhenti setelah suhu pada bak mencapai 35°C.

### 3.5. Hasil Uji DSC

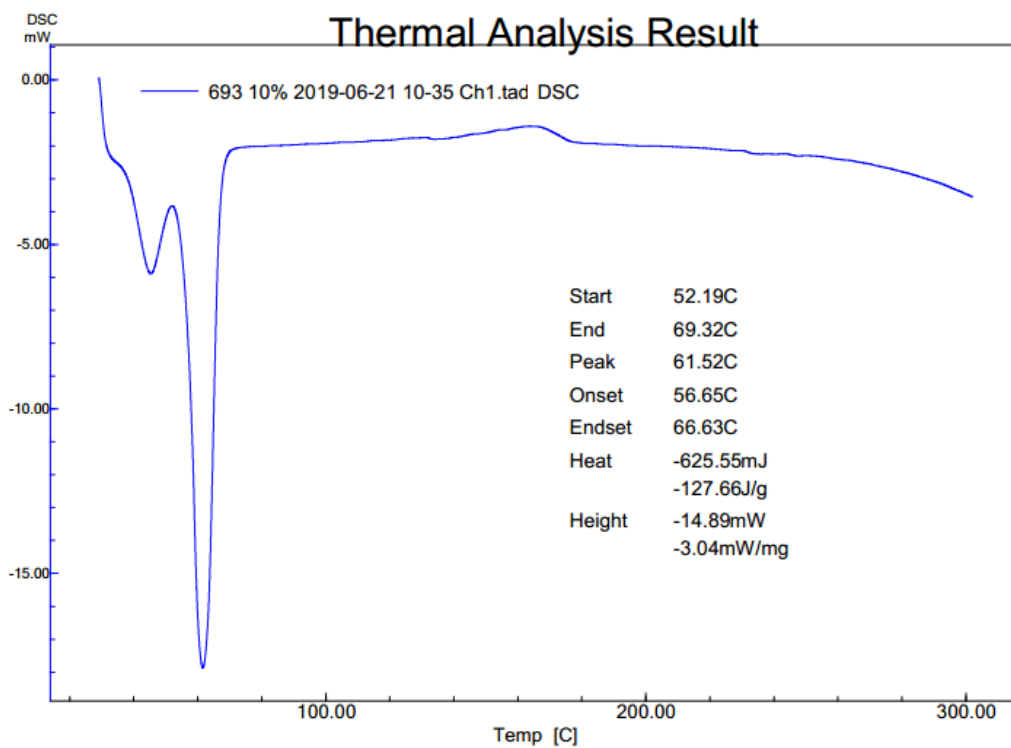
Uji Differential Scanning Calorimetry (DSC) terhadap Paraffin-Cu 10% berat yang dilakukan di laboratorium penelitian dan pengujian terpadu Universitas Gadjah Mada mendapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3.10 Hasil Uji DSC

[File Information]		[Temp Program]	
File Name:	693 10% 2019-06-21 1035 Ch1.tad	Start Temp [°C]	30
Sample Name:	10%	Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	693	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date	2019/06/21	Hold Time [min]	0
Acquisition Time	10:35:54(+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 3.11 Hasil Uji DSC

[DSC Peak]	1
Peak	
[°C]	61.52
Onset	
[°C]	56.65
Endset	
[°C]	66.63
Heat	
mJ	-625.55
J/g	-127.66
Height	
mW	-14.89
mW/mg	-3.04

**Gambar 3.19** Hasil Uji DSC

Hasil Uji DSC yang terlihat pada gambar 3.19 digunakan untuk mengetahui titik solidus dan liquidus campuran paraffin wax dan copper 10%. Hasil tersebut kemudian digunakan dalam proses perhitungan pada excel.