

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Bahan Penelitian

##### 3.1.1 Air

Penelitian ini menggunakan bahan berupa air seperti pada Gambar 3.1, dengan *properties* air pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 *Properties* Air (Cengel, 2003)

Air

Boiling Point (°C)	100
Laten Heat of Vaporization (kJ/kg)	2257
Freezing Point (°C)	0
Laten Heat of Fusion (kJ/kg)	333,7
Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	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

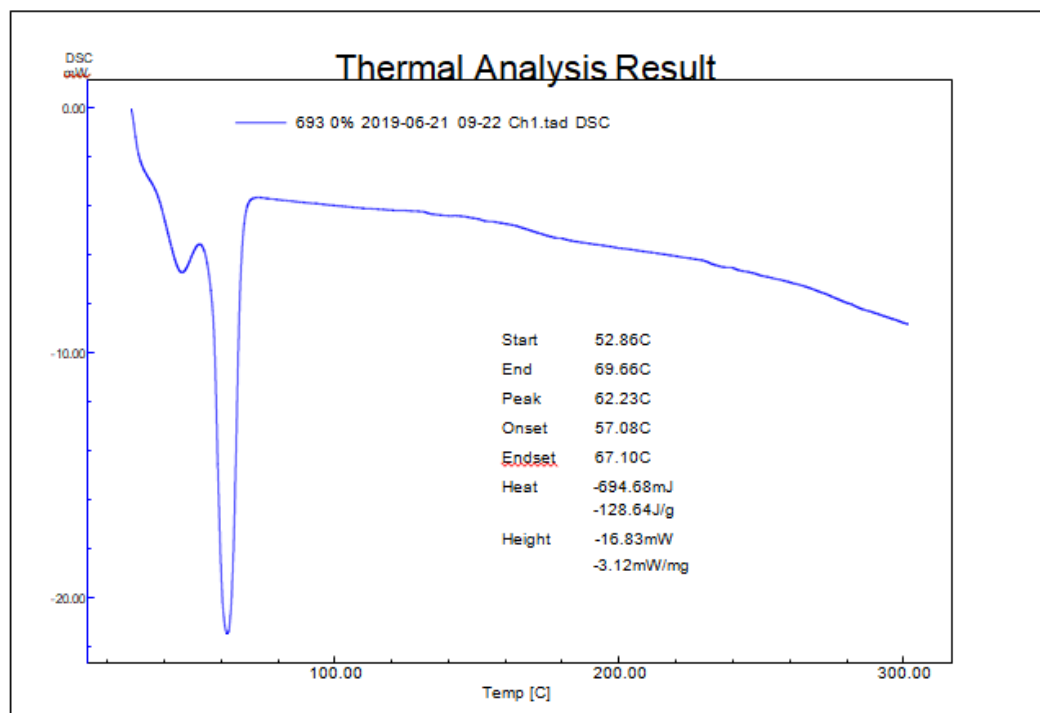
Bahan yang kedua pada penelitian ini adalah *paraffin wax* lokal, yang akan dicampur dengan serbuk tembaga 10% berat sebagai PCM. *Paraffin wax* lokal perlu diketahui sifat fisik dan juga sifat termalnya yang berupa densitas material ketika solid maupun *liquid* pada suhu tertentu, kalor jenis, *melting point* dan lain-lain. Berdasarkan sifat fisik dan termal yang harus diketahui maka harus dilakukan pengujian menggunakan metode pengujian DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). Berikut *paraffin wax* lokal terdapat pada gambar 3.16 dan hasil uji DSC terdapat pada table 3.6 dan 3.7 serta grafik hasil uji DSC pada gambar 3.17.

Gambar 3.1 *Paraffin Wax* LokalTabel 3. 2 Hasil uji DSC pada *paraffin wax* lokal

[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. 3 Hasil uji DSC *paraffin wax* lokal

[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. 2 Gambar grafik hasil uji DSC pada *paraffin wax*-CU 10%

### 3.2.3 *Paraffin Wax Rubitterm 60*

*Paraffin wax* RT60 merupakan jenis *paraffin* yang memiliki *melting point* 60 °C serta memiliki spesifikasi yang tertera pada tabel 3.8. Dan dari hasil pengujian DSC pada *paraffin wax* lokal diperoleh hasil *melting point* sebesar 62 °C. Hal ini mendasari bahwa pada penelitian ini *paraffin wax* lokal diasumsikan

seperti RT 60 karena memiliki *melting point* hampir sama sehingga dari asumsi tersebut dapat diperoleh spesifikasi termal lainnya yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan dalam penelitian ini, serta mengetahui kemampuan karakteristik termal pada *paraffin wax* lokal yang digunakan.

Tabel 3. 4 Spesifikasi dari *paraffin wax* RT 60 (*Rubiterm Phase Change Material*)

<b><i>Paraffin Wax</i> RT 60</b>	
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 menggunakan ayakan dengan spesifikasi mesh 200 yaitu terdapat 200 lubang dalam luasan ayakan 1 inch<sup>2</sup>, sehingga menghasilkan serbuk yang sangat halus, Tetapi serbuk tembaga yang dihasilkan tidak dikategorikan sebagai nano material karena minimal ukuran

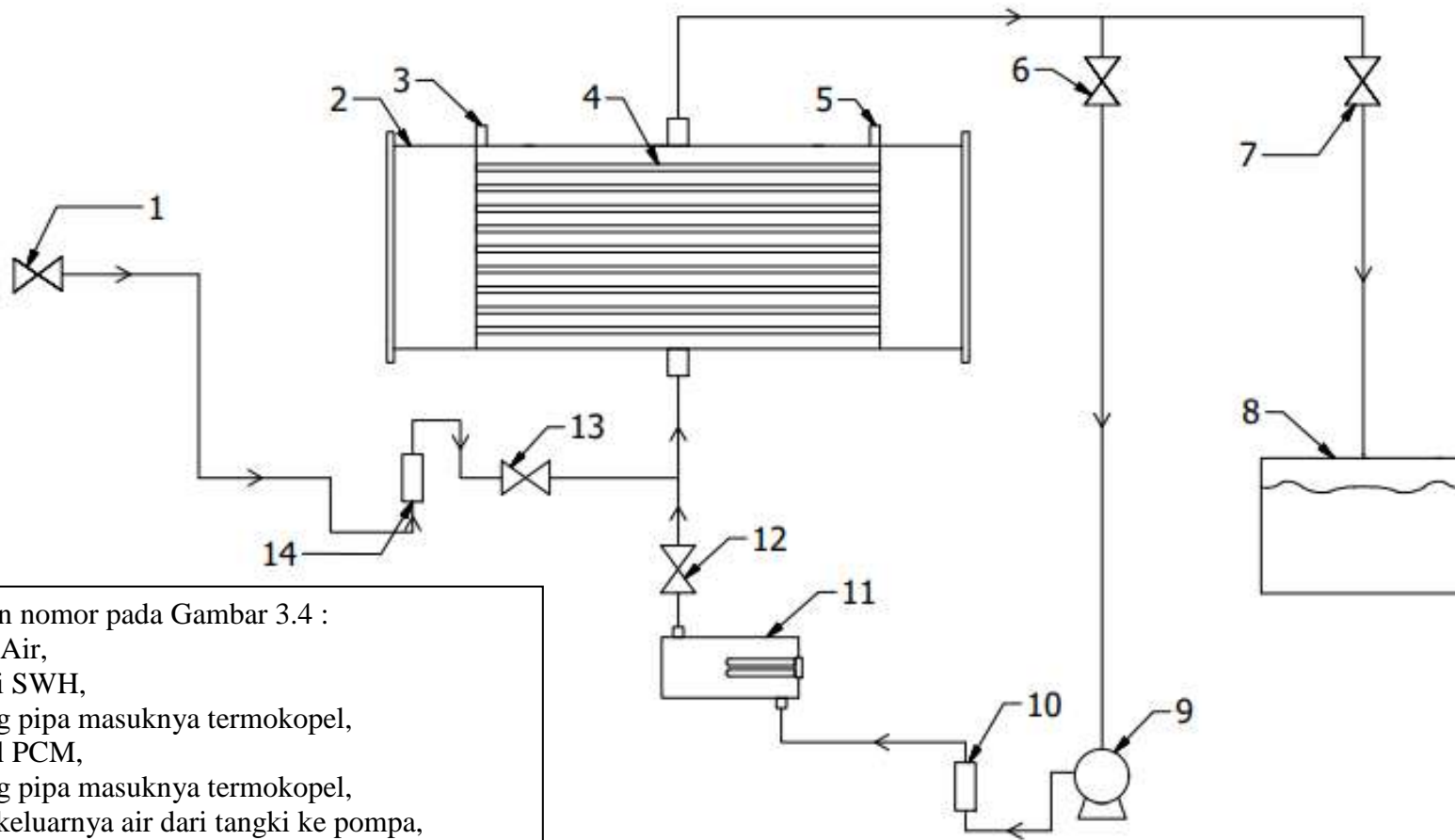
mesh yaitu 1250 atau sama dengan 10 mikrometer sedangkan mesh 200 berukuran 74 mikrometer. Berikut serbuk CU terdapat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Serbuk Tembaga

### 3.2. Skema Penelitian

Skema alat SWH tersebut merupakan skema proses *discharging* yang terdiri dari (1) katup *inlet* yang berfungsi sebagai masuknya aliran air dari kran ke tangki, (3) *rotameter* LZT M – 15 *Instrument Company* yang dapat mengukur debit sebesar 0,2 – 3,0 LPM serta 1 – 8 GPM LZT M – 15, (2) Tangki SWH yang berisi kapsul PCM didalamnya, (8) katup *outlet* yang berfungsi sebagai keluarnya air menuju ke bak penampungan, dan (9) bak penampungan sebagai tempat menampung air yang keluar dari tangki.



Keterangan nomor pada Gambar 3.4 :

1. Keran Air,
2. Tangki SWH,
3. Lubang pipa masuknya termokopel,
4. Kapsul PCM,
5. Lubang pipa masuknya termokopel,
6. Valve keluarnya air dari tangki ke pompa,
7. Valve keluarnya air dari tangki ke bak,
8. Bak Penampung Air,
9. Pompa,
10. Rotameter 1000 mLPM
11. Heater,
12. Valve heater,
13. Valve masuknya air dari keran ke tangki,
14. Rotameter 3 LPM,

Gambar 3. 4 Skema Proses *Discharging* Kontinyu

### 3.3. Alat Penelitian

*Solar Water Heater* sistem aktif yang digunakan memiliki kapasitas air 60 liter. Skema alat digambarkan seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. *Solar Water Heater*

Adapun komponen-komponen *Solar Water Heater* yang digunakan sebagai berikut :

#### 1. Tangki *Solar Water Heater*

Tangki SWH merupakan penyimpanan energi termal pada air. Tangki SWH ditutup dengan *glass wool* dan aluminium foil untuk mengurangi *heat loss*. Tangki ini memiliki panjang, diameter, dan kapasitas sebesar 60 liter. Material yang digunakan untuk pembuatan tangki *stainles steel* seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Tangki *Solar Water Heater*

#### 2. 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 3 LPM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Rotameter 3 LPM

### 3. *Applent Temperature Data logger*

*Applent Temperature Data logger* berfungsi untuk membaca *output* suhu yang terbaca oleh termokopel di dalam tangki SWH seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.

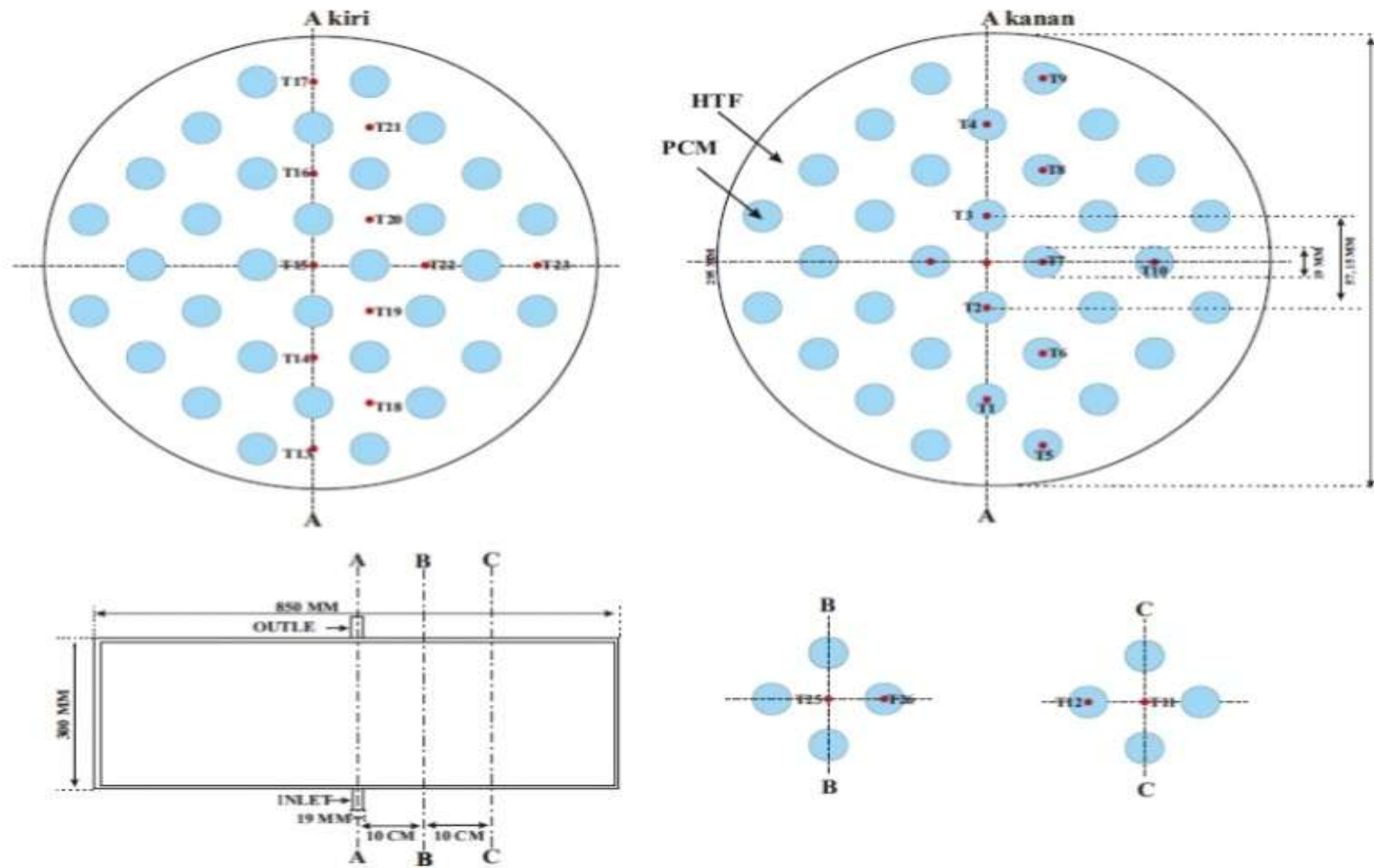


Gambar 3.8 *Applent Temperature Data logger*

### 4. Termokopel

Termokopel digunakan untuk mengukur suhu air pada tangki SWH. Termokopel dipasang di strimin, permukaan pipa, dan bak penampungan air yang jumlahnya 32 buah seperti pada Gambar 3.8 Sebelum digunakan, termokopel dikalibrasi terlebih dahulu untuk mengetahui suhu sebenarnya.





Gambar 3.9 Termokopel pada strimin

### 1. DC power supplay

*Power supplay* digunakan untuk mengatur daya pompa air. *Power supplay* diatur sesuai dengan debit yang akan di lakukan pengujian seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 DC power supplay

### 2. Valve

*Valve* berfungsi untuk membuka atau menutup aliran air pada proses *discharging*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Valve

### 3. Laptop

Laptop digunakan untuk membaca dan merekam *output* suhu secara otomatis dari data *logger*. Laptop yang digunakan memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 3.2 dan ditunjukkan pada Gambar 3.12.

Tabel 3.5 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 3.12 Laptop

#### 4. *Multimeter*

*Multimeter* digunakan untuk membaca voltase yang dikeluarkan oleh *voltage regulator* seperti pada Gambar 3.13.

Gambar 3.13 *Multimeter*

### **3.4. Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air biasa (SHS) sebagai *heat transfer fluid* (HTF). Air digunakan untuk mengisi tabung *Thermal Water Storage*.

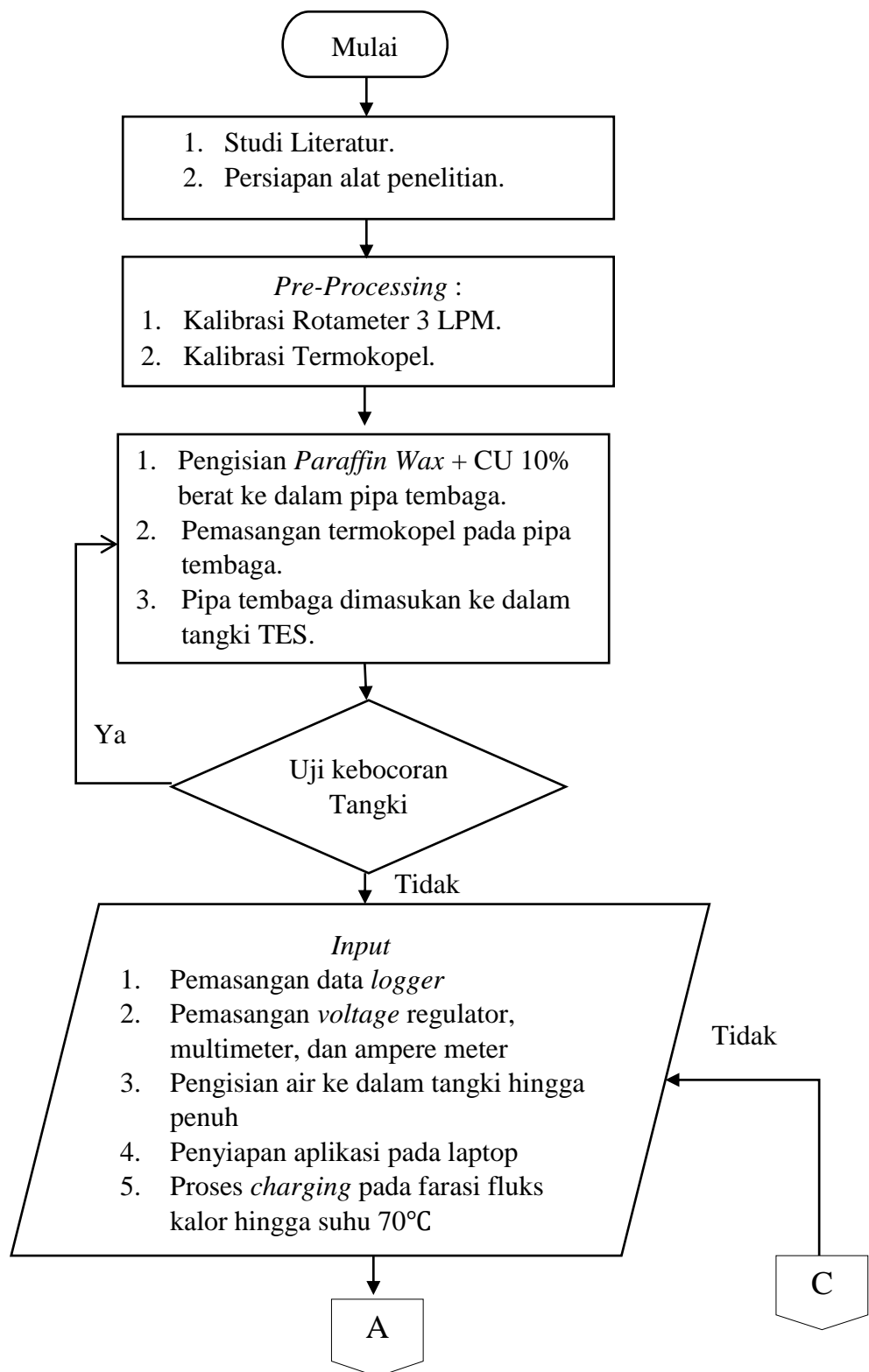
### **3.5. Prosedur Penelitian**

#### **3.5.1. Variasi Penelitian**

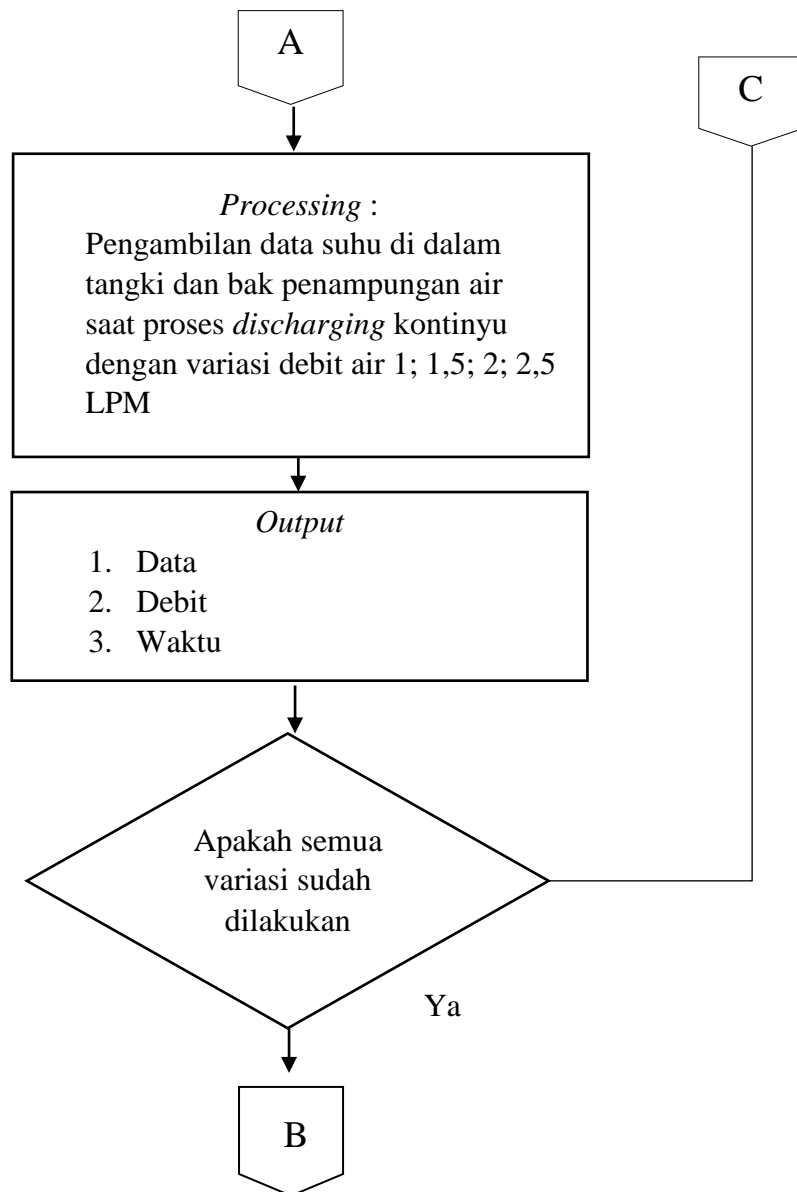
Variasi penelitian menggunakan variasi *fluks kalor*. Ada empat variasi *fluks kalor* yang digunakan yaitu 170; 180; 190; 1000 Volt.

#### **3.5.2 Diagram Alir Penelitian**

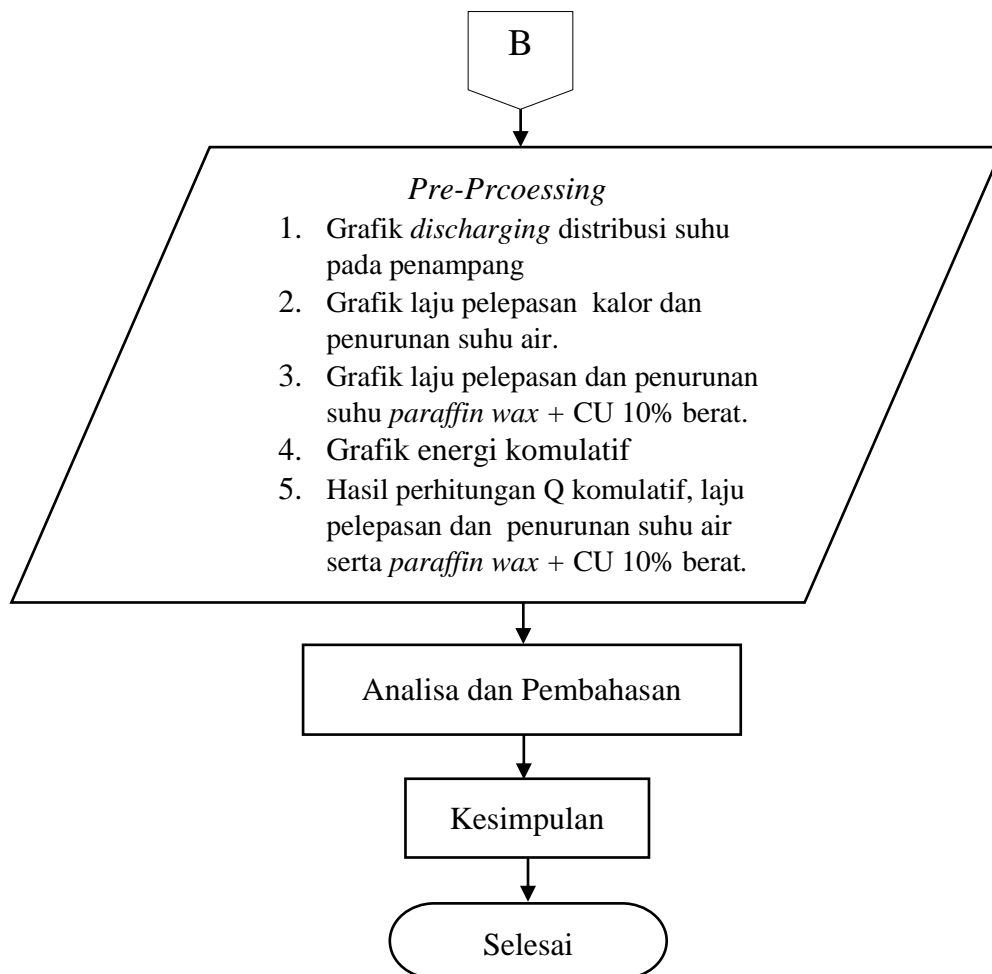
Proses penelitian dapat dilihat pada diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.14. Diagram alir penelitian



Gambar 3.15. Diagram alir penelitian (lanjutan)



Gambar 3.16. Diagram alir penelitian (lanjutan)

### 3.5.3. 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*.

#### 3.5.3.1 *Pre-Processing*

*Pre-Processing* adalah tahap awal yang perlu dilakukan sebelum memulai penelitian. Pada tahapan ini terdiri dari kalibrasi rotameter 3 LPM, *termocouple*, *heater*, pemasangan *termocouple* pada strimin dan pengecekan kebocoran pada tangki saat berisi air.

a. Kalibrasi rotameter 3 LPM

Kalibrasi rotameter 3 LPM adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat ukur. Kalibrasi dilakukan dengan cara pengaturan LPM 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 3 LPM . Setelah itu, mencari debit actual dengan persamaan (3.1)

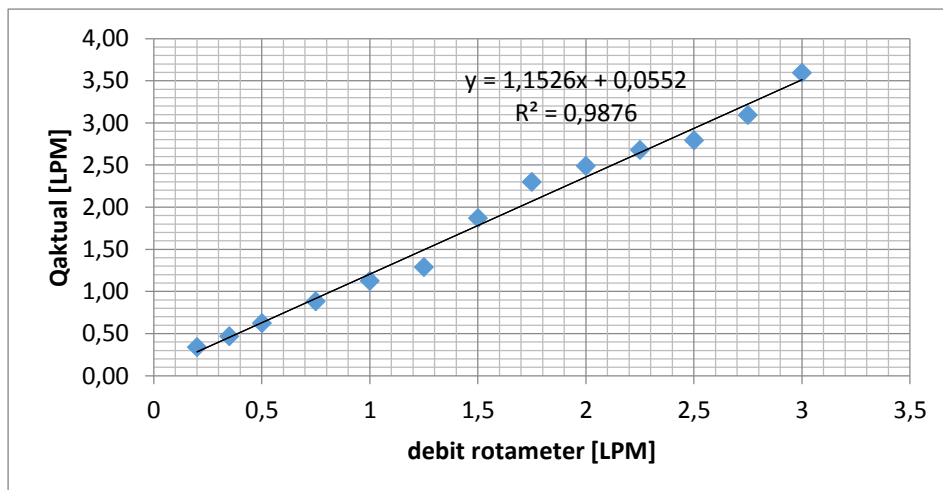
$$(V/s) \times (60/1000) \text{ pers (3.1)}$$

Dimana V adalah volume dari gelas ukur yaitu 100 ml, S adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengisi gelas ukur dalam satuan *second* dan diubah ke dalam LPM dengan cara dikali 60 dan di bagi 1000. Setelah melakukan perhitungan maka akan didapat Q aktual yang dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.9. Hasil kalibrasi rotameter 3 LPM

Rotameter	DC Power Supply		Debit Aktual		Suhu Air		LPM
	Voltase	Arus	Volume	Waktu	Awal	Akhir	
[LPM]	[Volt]	[Ampere]	[mL]	[detik]	[°C]	[°C]	Q actual
0.2	1.8	0.4	100	17.66	28	28	0.34
0.35	2.1	0.42	100	12.79	28	28	0.47
0.5	2.6	0.44	100	9.6	28	28	0.63
0.75	3.9	0.51	100	6.81	28	28	0.88
1	4.6	0.56	100	5.34	28	28	1.12
1.25	5.5	0.62	100	4.66	28	28	1.29
1.5	6.1	0.67	100	3.21	28	28	1.87
1.75	7	0.74	100	2.61	28	28	2.30
2	8	0.81	100	2.41	28	28	2.49
2.25	8.9	0.89	100	2.24	28	28	2.68
2.5	10.1	0.95	100	2.15	28	28	2.79
2.75	10.8	1	100	1.94	28	28	3.09
3	11.8	1.06	100	1.67	28	28	3.59





Gambar 3. 17 Grafik kalibrasi rotameter 3 LPM

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. Setelah melakukan kalibrasi, bisa diketahui seberapa jauh perbedaan antara *termocouple* data logger 32 channel dengan termometer. Hasil dari kalibrasi *termocouple* dapat dilihat pada tabel 3.9.

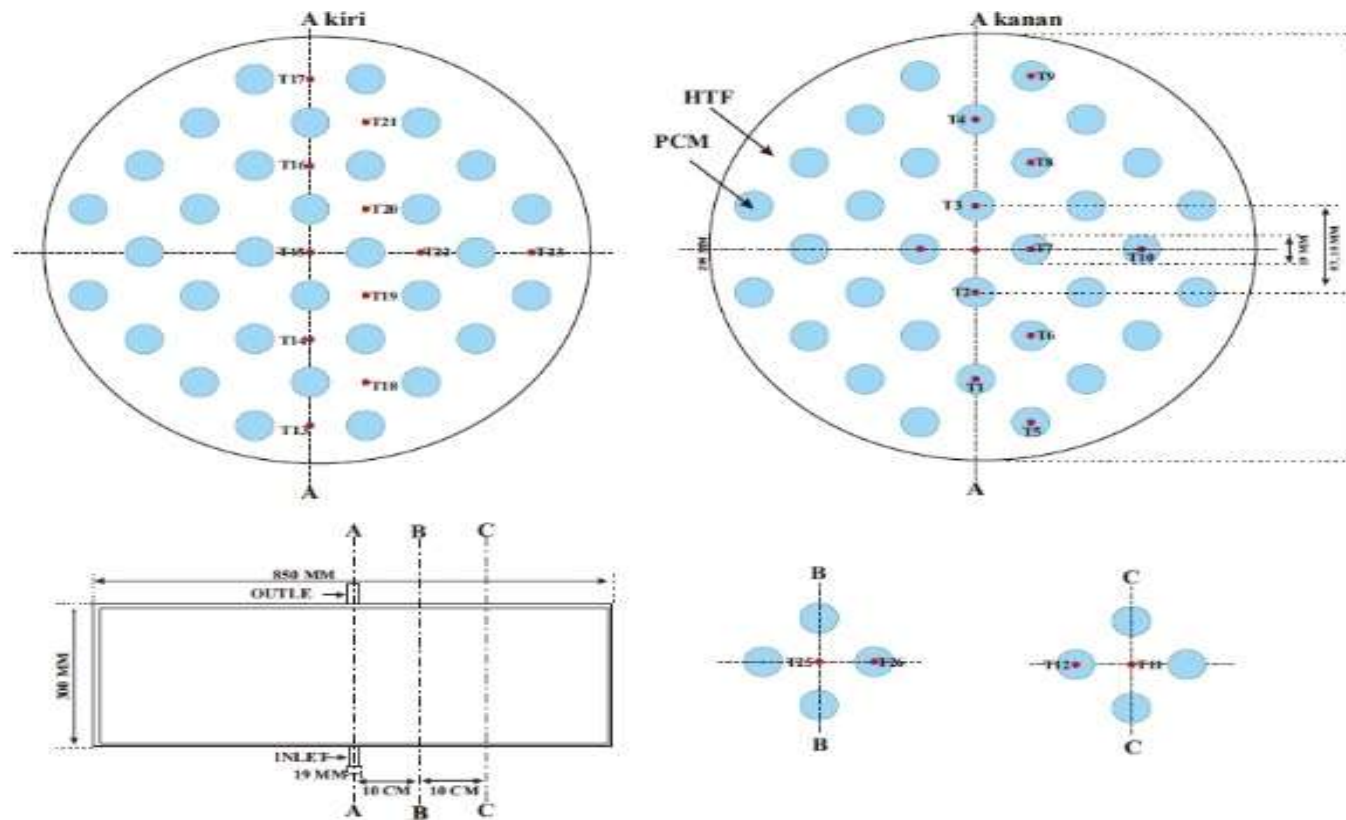
Tabel 3.10 Kalibrasi *Termocouple*

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

$T_{st,14} = 0.9605 \cdot T_{14} - 0.9199$	$T_{st,30} = 0.9725 \cdot T_{30} + 0.0986$
$T_{st,15} = 0.9837 \cdot T_{15} - 2.3527$	$T_{st,31} = 1.0003 \cdot T_{31} - 2.0741$
$T_{st,16} = 0.9847 \cdot T_{16} - 2.3997$	$T_{st,32} = 0.9557 \cdot T_{32} + 0.8542$

c. Pemasangan *Termocouple* pada strimin

Pemasangan *termocouple* pada strimin dilakukan setelah pelepasan tutup tangki. Letak pemasangan *termocouple* mengikuti gambar desain penempatan *termocouple* yang ditunjukkan pada gambar 3.14.



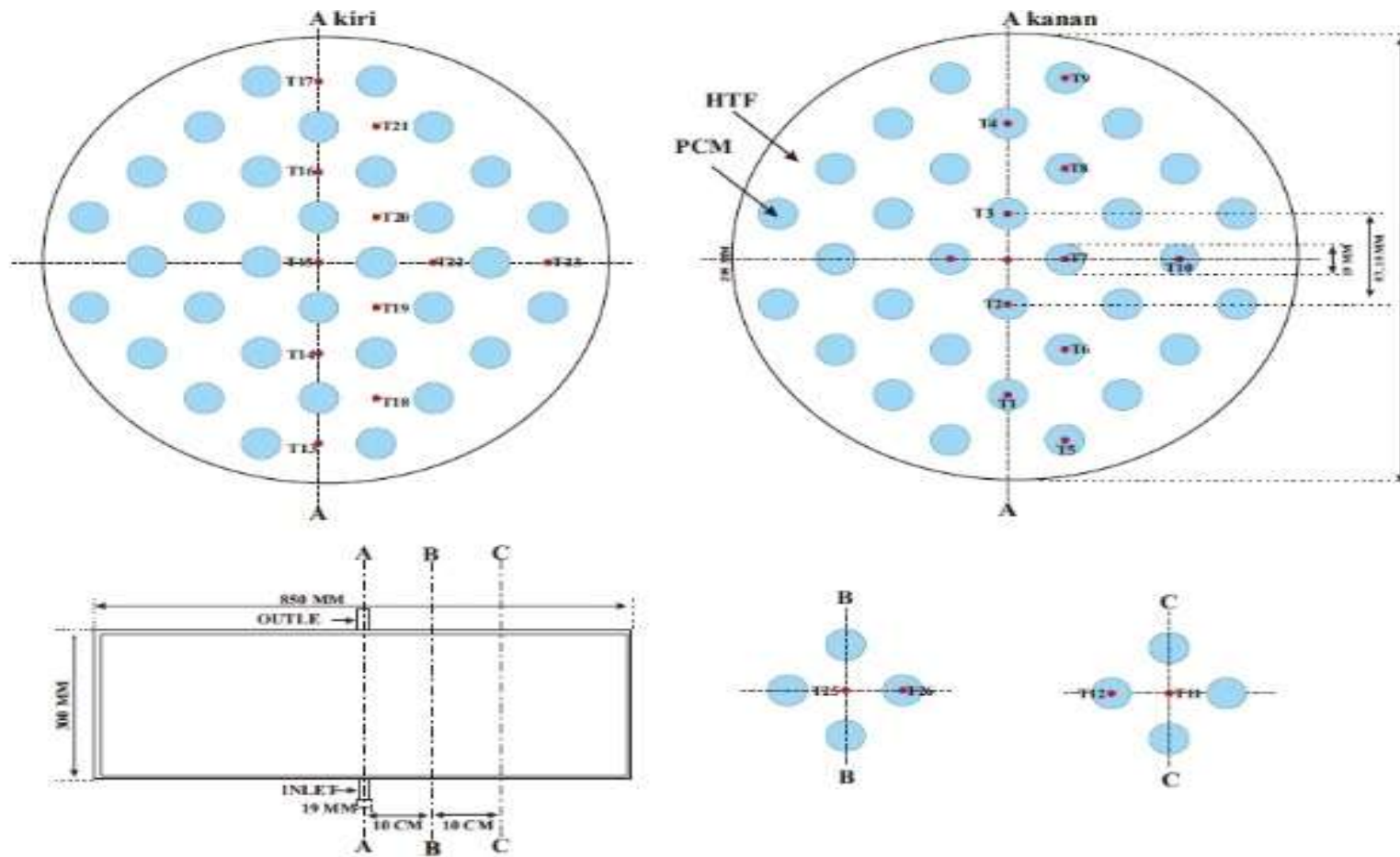
Gambar 3.18. Desain penempatan *termocouple*

d. Pemasangan *termocouple* di tangki SWH

Pemasangan *thermocouple* di tangka SWH dilakukan sesuai dengan desain penempatan *thermocouple*.

e. Pemasangan *Thermocouple* pada strimin

Pemasangan *thermocouple* pada strimin dilakukan dengan jarak permukaan strimin dengan ujung *thermocouple* berjarak 5 cm. Letak pemasangan *termocouple* mengikuti gambar desain penempatan *thermocouple* yang ditunjukkan pada gambar 3.15.



3.19. Desain penempatan *thermocouple*

f. 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.

3.5.3.2. *Pre-Processing*

Tahap kedua yaitu *pre-processing* sangat penting karena apabila tidak sesuai dengan aturan maka data yang diambil tidak benar. Tahap *pre-processing* terdiri dari pemasangan instrument seperti data *logger*, *voltage regulator*, *multimeter*, ampere meter. Setelah itu, melakukan pengisian air pada tangki hingga penuh dan menyiapkan aplikasi pada laptop.

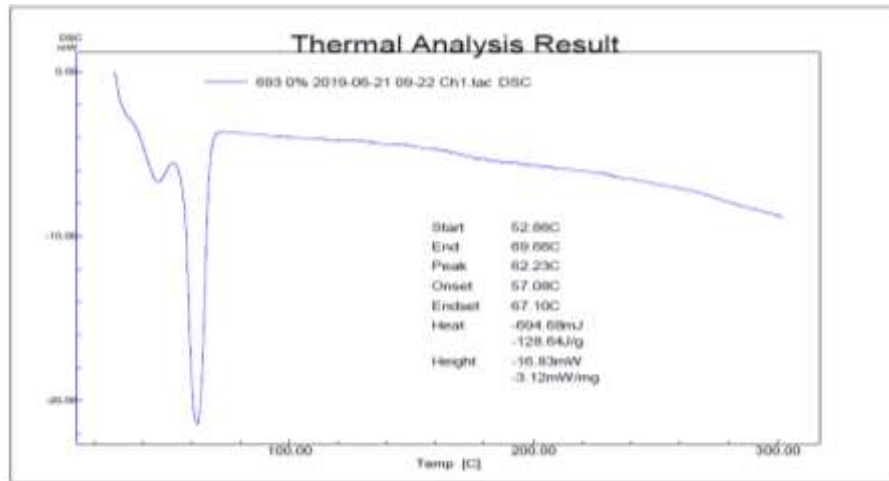
3.5.3.3. *Processing*

Tahap ketiga yaitu *processing* adalah melakukan *charging*. *Charging* berlangsung sampai suhu T24 mencapai suhu  $70^{\circ}$  C. suhu terpantau pada data *logger*. Apabila sudah mencapai suhu yang diinginkan maka kita *stop* pada data *logger*.

3.5.3.4 *Post-Processing*

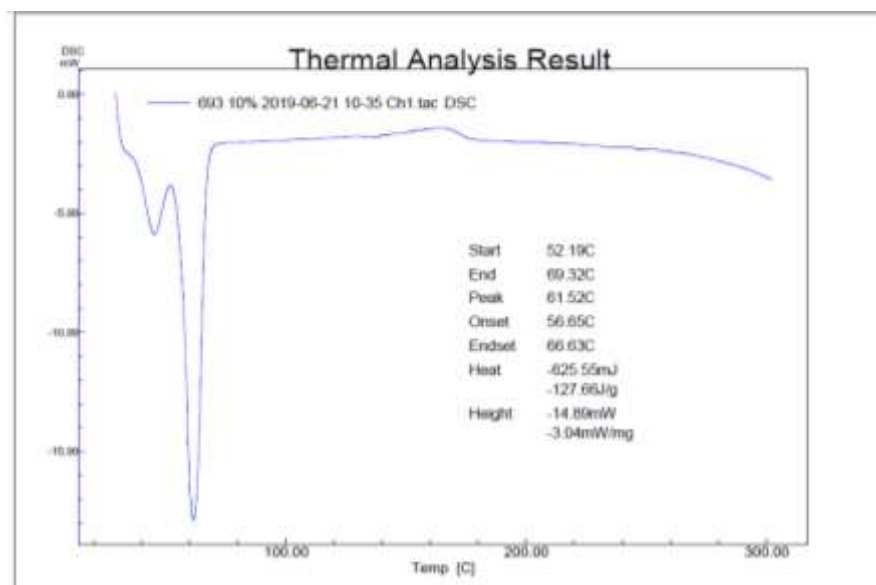
Setelah selesai melakukan pengambilan data tahap selanjutnya yaitu melihat data mentah dari data *logger* 32 *channel* dalam bentuk *excel*. *Excel* dari data *logger* kemudian kita olah menjadi grafik dan analisa grafik tersebut.

### 3.6. Hasil Uji DSC



Gambar 3.20 Hasil Uji DSC *Paraffin Wax*

Hasil uji DSC pada *paraffin wax* 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. Perubahan fasa pada PCM dilihat dari *start* suhu dan *stop* pada uji DSC. Penelitian ini, PCM mengalami perubahan fasa pada suhu 52,19°C dengan acuan dari uji DSC *paraffin wax* + Cu 10%.



Gambar 3.21 Hasil Uji DSC *Paraffin Wax* + Cu 10%