

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 dilapisi dengan *glasswool* dan aluminium foil untuk mengurangi panas yang keluar dari permukaan tangki. Tangki pada penelitian ini digunakan untuk tempat pemasangan PCM *paraffin wax* dan serbuk tembaga saat proses *discharging*. Tangki TES ini terbuat dari bahan *stainles steel* dengan panjang 700 mm, diameter 300 mm, dan volume sebesar 60 liter.

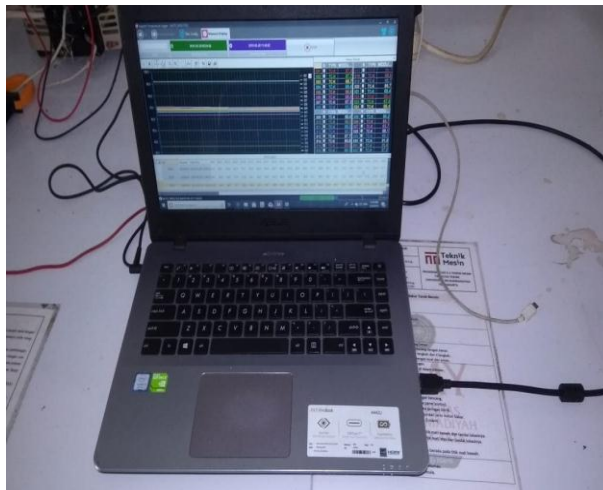


Gambar 3.1 Tangki TES

- b. Laptop digunakan untuk mengoperasikan aplikasi saat percobaan dilakukan dan untuk memudahkan saat pengambilan data.

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* digunakan untuk mengambil data temperatur 32 titik yang terpasang pada tangki TES dan untuk membaca atau mengetahui temperatur 32 titik yang terpasang pada alat.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Data Logger*

No.	Aspek	Keterangan
-----	-------	------------

1	Merek	Applent AT4532
2	Jumlah chanel	32 chanel
No.	Aspek	Keterangan
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



Gambar 3.3 Applent Temperature Data logger

- d. Rotameter Air digunakan untuk mengatur variasi debit air yang masuk ke tangki TES. Debit air maksimal yang dapat terukur oleh rotameter air ini adalah 3 LPM atau 0.8 GPM.

Tabel 3.3 Spesifikasi Rotameter

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



Gambar 3.4 Rotameter Air 3 LPM

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

Tabel 3.4 Spesifikasi Selang

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



Gambar 3.5 Selang Air

- f. Bak penampung air berfungsi untuk menampung air pada saat proses *discharging* agar suhu air keluar tangki TES dapat terbaca.

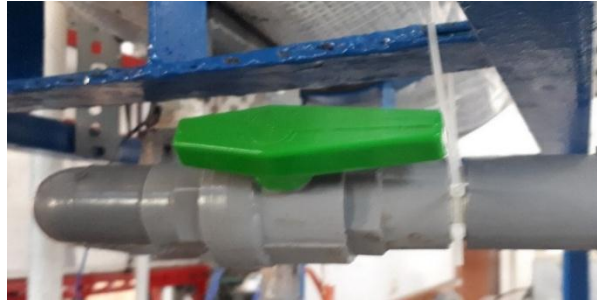
Tabel 3.5 Spesifikasi Bak Penampungan Air

No.	Aspek	Keterangan
1	Dimensi	530mm (L) x450mm (T) x760mm (P)
2	Volume	181 Liter



Gambar 3.6 Bak Penampung Air

- g. *Valve* berfungsi untuk membuka atau menutup aliran air pada proses *discharging*. Saat proses *charging* maka *valve* ini akan ditutup dan saat *discharging* *valve* ini dibuka kemudian *valve charging* ditutup. Penelitian ini menggunakan *valve* ukuran 3/4in dan terdapat 2 buah.



Gambar 3.7 Valve

- h. Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa paraffin wax dan Cu yang akan di padukan didalam pipa kapsul supaya jumlah campuran tiap kapsul sama, sehingga hasil pengukuran menjadi lebih maksimal



Gambar 3.8 Timbangan Digital

- i. Saringan mesh 200 merupakan alat yang digunakan untuk menyaring serbuk tembaga supaya memiliki ukuran yang sama sehingga ketika dipadukan dengan paraffin wax diharapkan memiliki sifat homogen.



Gambar 3.9 Saringan mesh 200

- j. Magnetic hotplate stirrer digunakan untuk mengaduk campuran paraffin wax Cu 20% supaya menjadi campuran yang homogen. Pada yang dilengkapi dengan heater yang berguna untuk mencegah paraffin wax menjadi beku. Berikut adalah spesifikasi magnetic hotplate stirrer :

Tabel 3.6 spesifikasi magnetic hotplate stirrer

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



Gambar 3.10 Magnetic Hotplate Stirrer

3.2. Bahan Penelitian

3.2.1 Air

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air biasa (SHS) sebagai *heat transfer fluid* (HTF) dan *paraffin wax* Cu 20% sebagai *phase change material* (PCM), *Properties* air dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tabel 3.7 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 ³)	1000
Kalor Jenis Spesifik pada suhu 25°C (J.kg.K)	4180

3.2.2 Paraffin wax lokal

Bahan yang kedua pada penelitian ini adalah *paraffin wax* lokal, yang akan dicampur dengan serbuk tembaga 20% 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 3.11 dan hasil uji DSC terdapat pada table 3.8 dan 3.9 serta grafik hasil uji DSC pada gambar 3.17.



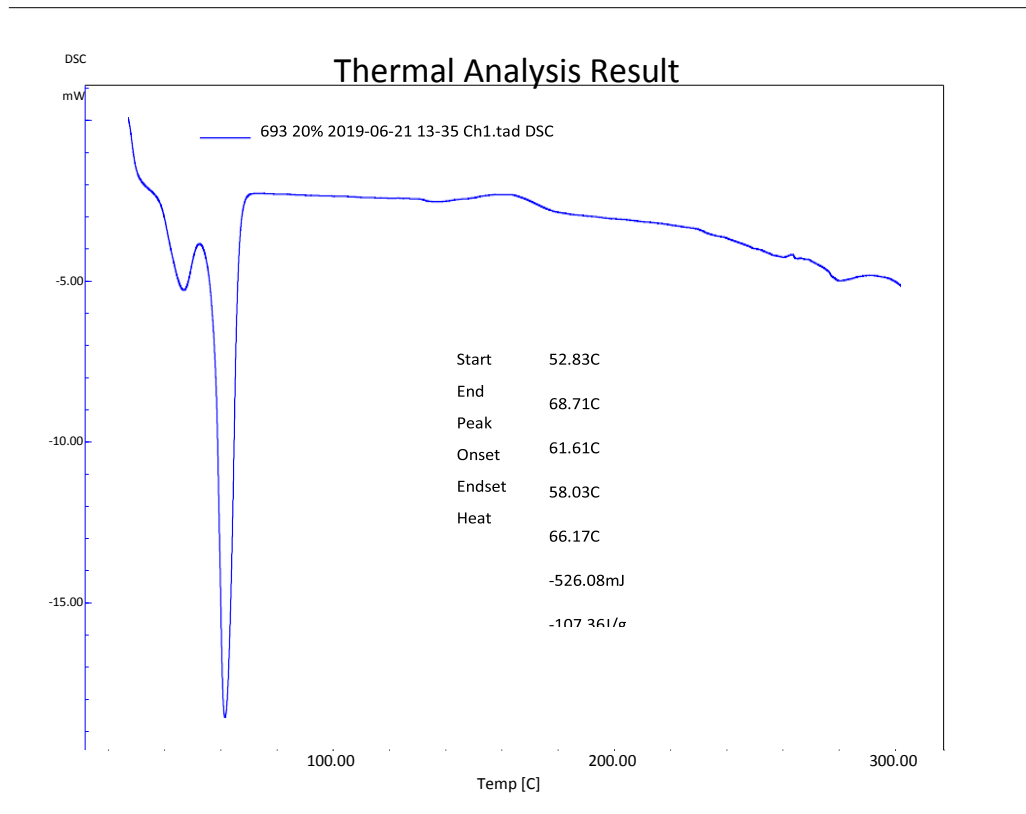
Gambar 3.11 Paraffin Wax Lokal

Tabel 3.8 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		

[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 3.12 Gambar grafik hasil uji DSC pada paraffin wax-CU 20%

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 table 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 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, serta mengetahui kemampuan karakteristik termal pada *paraffin wax* lokal yang digunakan.

Tabel 3.9 Spesifikasi dari paraffin wax RT 60 (Rubiterm phase change material)

<i>Paraffin Wax RT 60</i>	
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 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 saringan dengan spesifikasi mesh 200 yaitu terdapat 200 lubang dalam luasan ayakan 1 inch², 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 3.18.



Gambar 3.13 Serbuk Cu

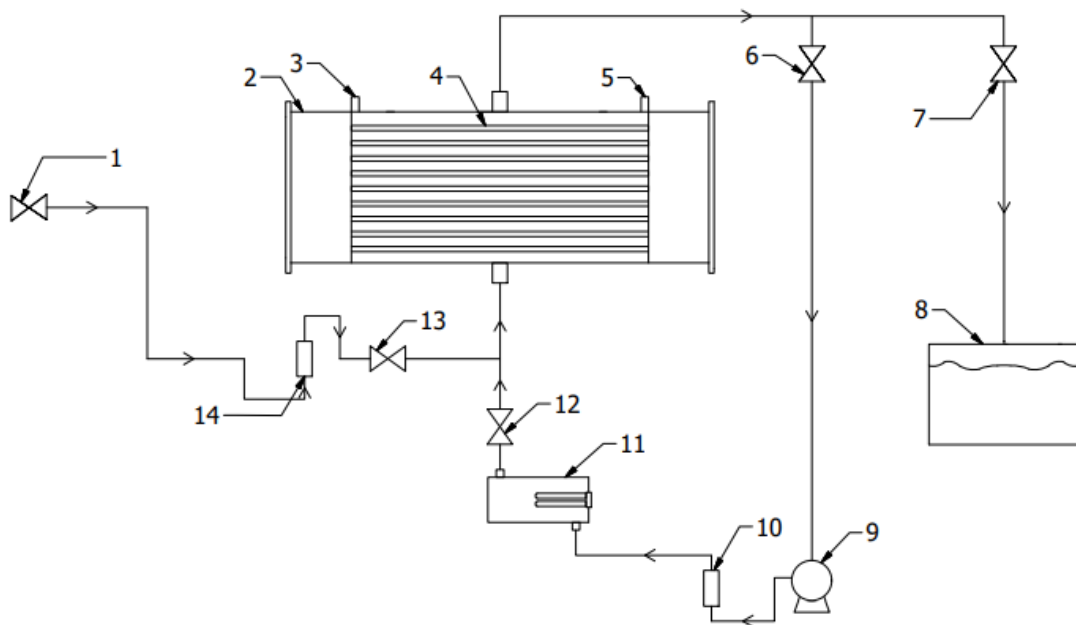
Tabel 3.10 Sifat – sifat Tembaga Cu

Tembaga (Cu)	
Titik didih (K)	2840 [K]
Titik lebur (K)	1356.6 [K]
Radius Atom	1.28 Å
Volume Atom	7.1 cm ³ /mol
Massa Atom	63.546
Radius Kovalensi	1.17 Å
Struktur Kristal	Fcc
Massa Jenis	8.96 g/cm ³
Konduktivitas Listrik	60.7 x 10 ⁶ ohm ⁻¹ cm ⁻¹
Elektronegativitas	1.9

Konfigurasi Elektron	[Ar]3d10 4s1
Formasi Entalpi	13.14 kJ/mol
Konduktifitas Termal	401 Wm ⁻¹ K ⁻¹
Potensial Ionisasi	7.726 V
Bilangan Oksidasi	2,1
Kapasitas Panas	0.385 Jg ⁻¹ K ⁻¹
Entalpi Penguapan	300.5 kJ/mol

3.3. Skema Penelitian

Skema alat SWH tersebut merupakan skema proses *discharging* yang terdiri dari (1) katup inlet yang berfungsi sebagai masuknya aliran air kran ke tangki, (14) *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, (7) katup outlet yang berfungsi sebagai keluarnya air menuju ke bak penampungan, dan (8) bak penampungan sebagai tempat menampung air yang keluar dari tangki.



Gambar 3.14 Skema Proses Discharging Bertahap

Keterangan nomor pada Gambar 3.14:

1. Keran Air,
2. Tangki SWH,
3. Lubang pipa masuknya termokopel,
4. Kapsul PCM,
5. Lubang pipa masuknya termokopel,
6. Valve keluaranya air dari tangki ke pompa,
7. Valve keluaranya 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,

3.3.1. Proses Pengambilan Data

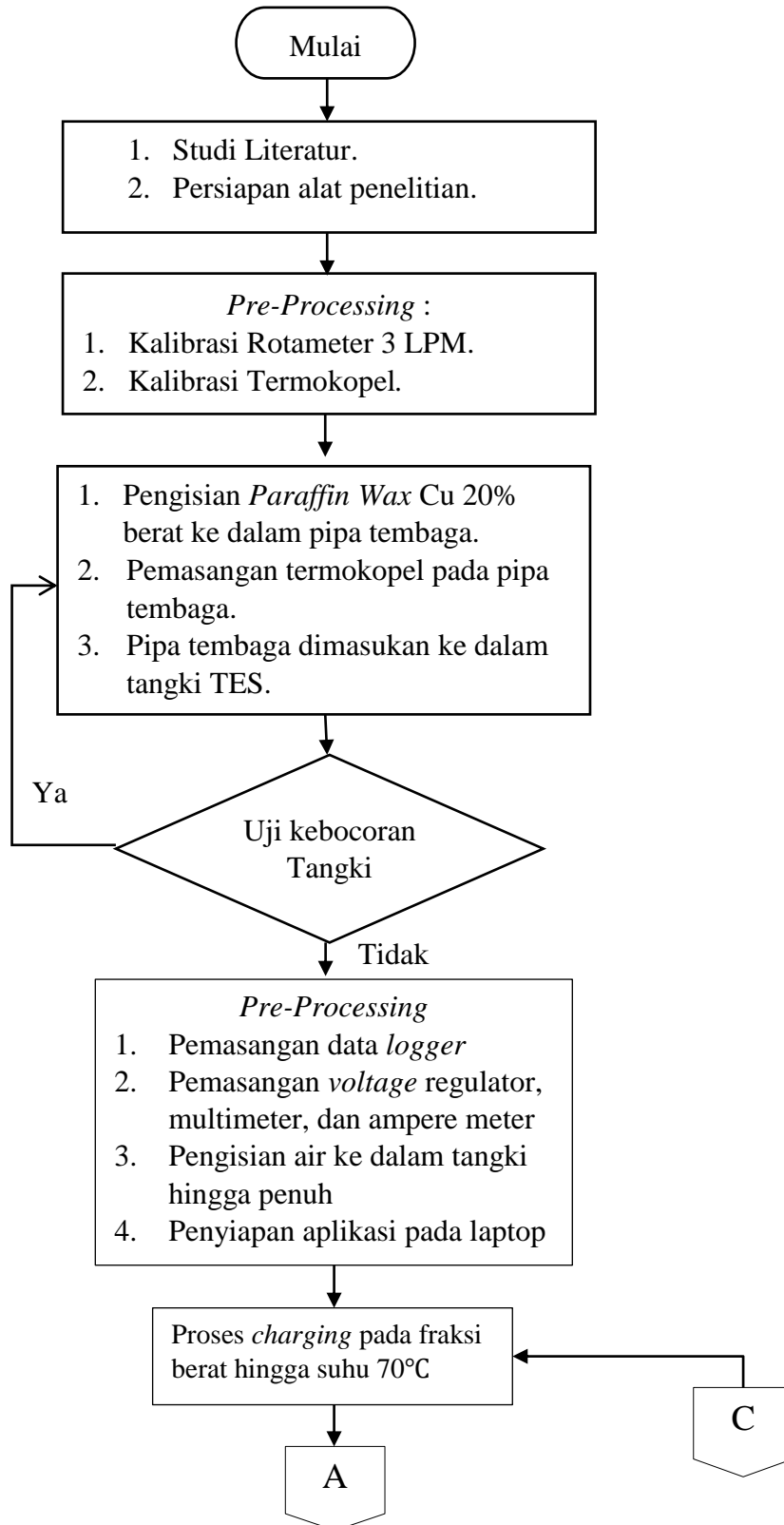
Sebelum melakukan pengambilan data discharging bertahap terlebih dahulu dilakukan pengambilan data charging dengan variasi debit hingga mencapai temperatur 70°C, setelah pengambilan data charging kemudian dilanjutkan proses pengambilan data discharging bertahap dengan menutup valve charging kemudian sambungkan input air dari kran ke rotameter 3 LPM dan membuka valve discharging, kemudian atur variasi debit air mulai 1 LPM lalu proses pengambilan data bisa dimulai dengan menekan start pada aplikasi *Applent data logger* di laptop. Setiap 5 menit sekali kran input air dimatikan dan 5 menit berikutnya dihidupkan hingga mencapai suhu pada T32 yang terletak pada bak penampung mencapai 35°C. Lakukan langkah yang sama dari variasi 1 LPM hingga 2,5 LPM.

3.4. Rencana Analisis Data

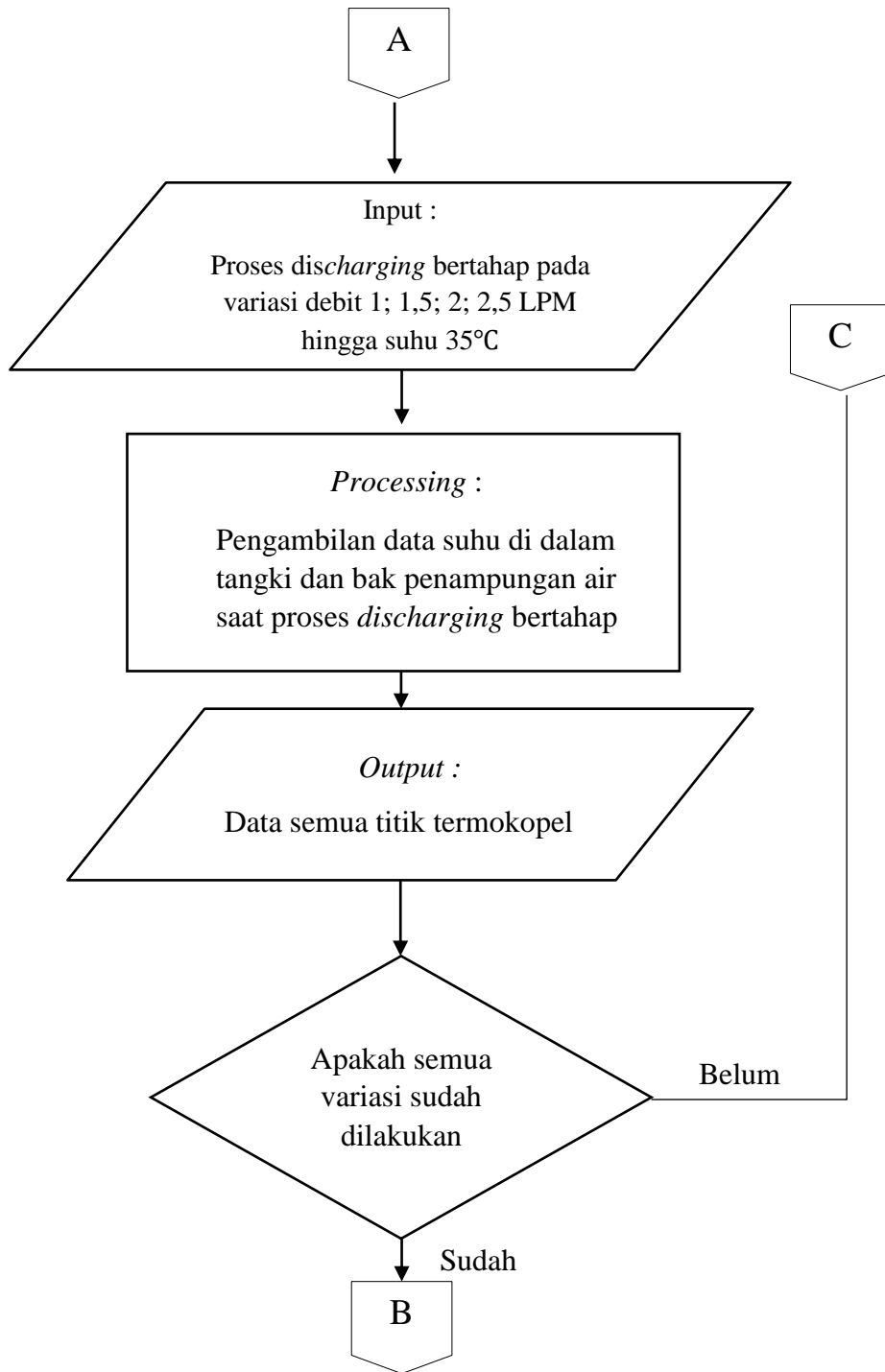
3.4.1. Variasi Penelitian

Variasi penelitian menggunakan variasi debit air. Variasi ini memiliki empat macam debit air yaitu 1; 1,5; 2; 2,5 LPM.

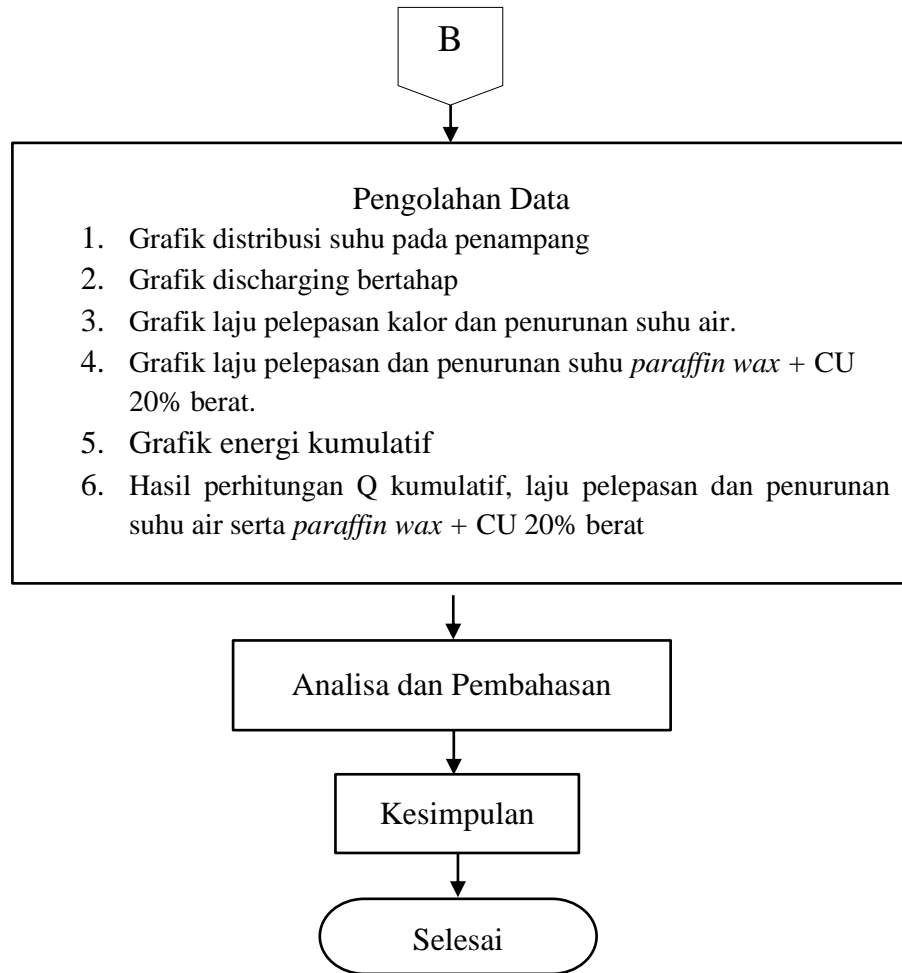
3.4.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3 15. Diagram alir penelitian



Gambar 3 16. Diagram alir penelitian lanjutan



Gambar 3. 17. Diagram alir penelitian (lanjutan)

3.4.3. 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 4 yaitu, *Pre-Processing*, *input*, *Processing*, dan *output*.

3.4.3.1 *Pre-Processing*

Pre-Processing adalah tahap awal yang perlu dilakukan sebelum memulai penelitian. Pada tahapan ini terdiri dari kalibrasi rotameter 3 LPM, *termocouple*,

pengisian *paraffin Cu 20%* pada pipa tembaga, pemasangan *termocouple* pada pipa tembaga dan pengecekan kebocoran pada tangki saat berisi air.

a. Kalibrasi Rotameter 3 LPM

Kalibrasi rotameter 3 LPM merupakan kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur. Kalibrasi dilakukan dengan cara air diatur sesuai LPM yang diinginkan, setelah itu air ditampung pada tempat berkapasitas 100 ml dan saat tempat tersebut penuh kemudian dicatat waktu agar dapat dihitung untuk mencari debit aktualnya.

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 3.6.

Kalibrasi dilakukan dari 0,2 LPM sampai 3 LPM, setelah itu mencari debit aktualnya dengan persamaan (3.1)

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

Tabel 3.11 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_{aktual}
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

[LPM]	[Volt]	[Ampere]	[mL]	[detik]	[°C]	[°C]	Q aktual
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

b. Kalibrasi *Termocouple*

Kalibrasi termocouple merupakan kegiatan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukkan alat ukur dengan cara membandingkan terhadap standar alat ukur.

Kalibrasi membandingkan standar nasional menggunakan *termometer* sebagai acuan, setelah itu mencari temperatur aktualnya pada termokopel dengan persamaan (3.2)

$$y = mx + c \quad (3.2)$$

Dimana y merupakan 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 3.12.

Tabel 3.12 Kalibrasi Termokopel

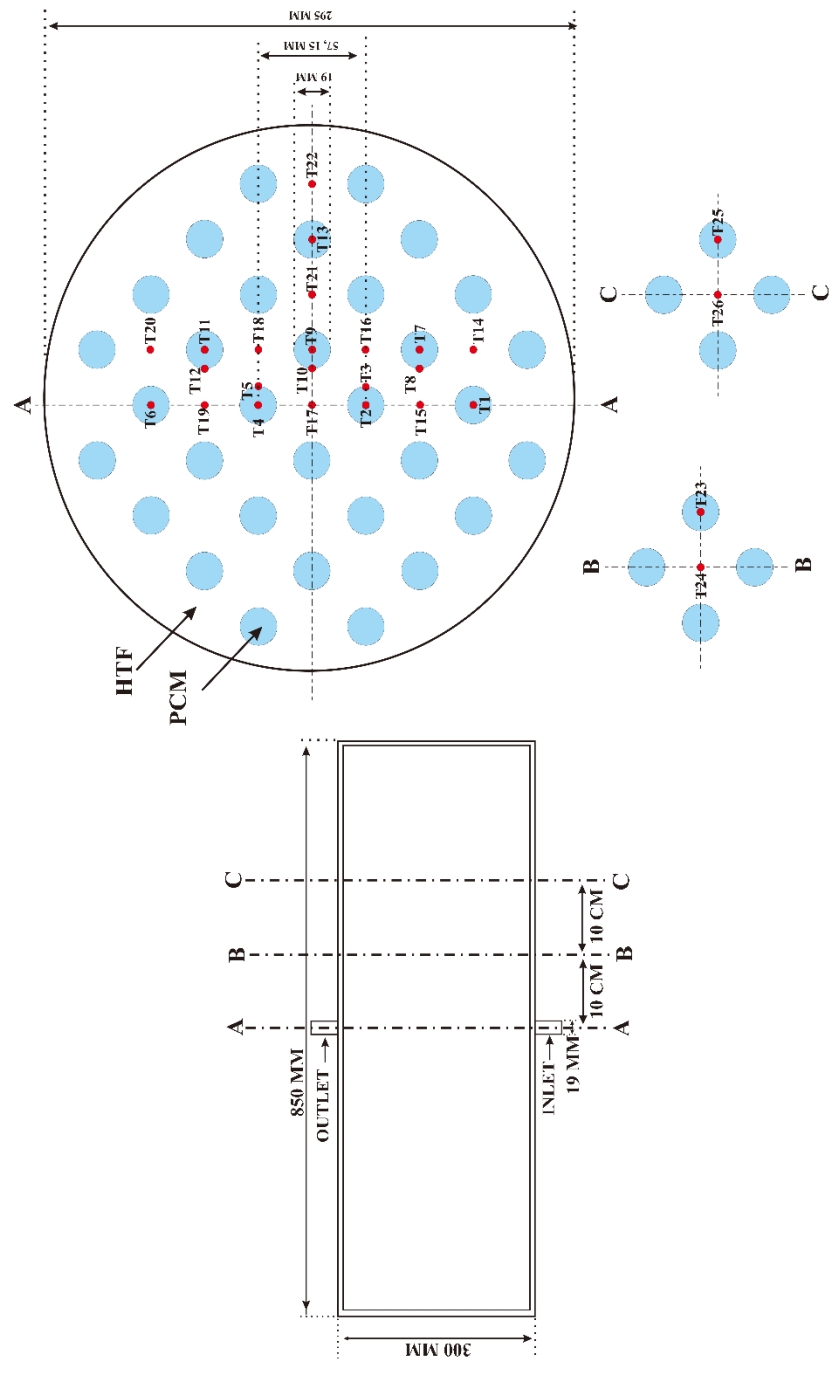
$T_{st,1} = 1.0004 \cdot T_1 - 3.12$	$T_{st,17} = 0.9687 \cdot T_{17} - 1.5254$
$T_{st,2} = 1.0013 \cdot T_2 - 2.9765$	$T_{st,18} = 0.9765 \cdot T_{18} - 1.9785$
$T_{st,3} = 1.002 \cdot T_3 - 3.0004$	$T_{st,19} = 0.9479 \cdot T_{19} - 0.2245$
$T_{st,4} = 0.979 \cdot T_4 - 1.401$	$T_{st,20} = 0.9539 \cdot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

c. Pengisian *Paraffin* Cu 20%

Penelitian ini menggunakan PCM campuran paraffin dengan serbuk tembaga 20%. Pengisian pada pipa tembaga diberi ruang 30% dari ruang total pipa tembaga tersebut dan Cu 20% diambil dari 70% total seluruh volume tabung.

d. Pemasangan *Termocouple*

Pemasangan *termocouple* pada pipa tembaga dilakukan setelah pengisian *paraffin* Cu 20% selesai dengan mengebor pipa tembaga pada bagian yang sudah ditetapkan. Letak pemasangan *termocouple* mengikuti gambar desain penempatan *termocouple* yang ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.18 Desain Penempatan Termokopel

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.

f. Proses *Charging*

Pengambilan data saat proses *charging* atau sudah mencapai suhu 70 °C. Pada proses ini *termocouple* 28, 31 dan 32 merupakan indikator dalam pengambilan data.

3.4.3.2 *Input*

Setelah melakukan pengambilan data proses *charging*, tahap selanjutnya adalah pengambilan data proses *discharging* bertahap dengan variasi debit 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM.

3.4.3.3 *Processing*

Tahap selanjutnya adalah proses pengambilan data suhu tangki dan suhu di dalam bak penampung air ketika proses *discharging* bertahap.

3.4.3.4 *Output*

Proses pengolahan data dari *data logger 32 channel* dalam bentuk excel kemudian di olah menjadi grafik, analisa grafik tersebut, dan dilakukan perhitungan Q kumulatif, laju pelepasan kalor, laju penurunan suhu air, volume total air hangat, selisih volume total air hangat.