

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Alat Penelitian**

Penelitian ini sangat memerlukan beberapa perangkat lunak yaitu hardware dan software.

##### **3.1.1 Hardware (perangkat keras)**

Hardware yang digunakan untuk menjalankan software, spesifikasi hardware yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Spesifikasi hardware (perangkat keras)

No.	Jenis Hardware	Perangkat Komputasi
1	Processor	Intel Core i5-7400T 2.4 GHz
2	Motherboard	Lenovo
3	RAM	4GB DDR4
4.	Graphic Card	Intel HD Graphics
5.	Storage	1 TB HDD SATA 5400 rpm

##### **3.1.2 Software (perangkat lunak)**

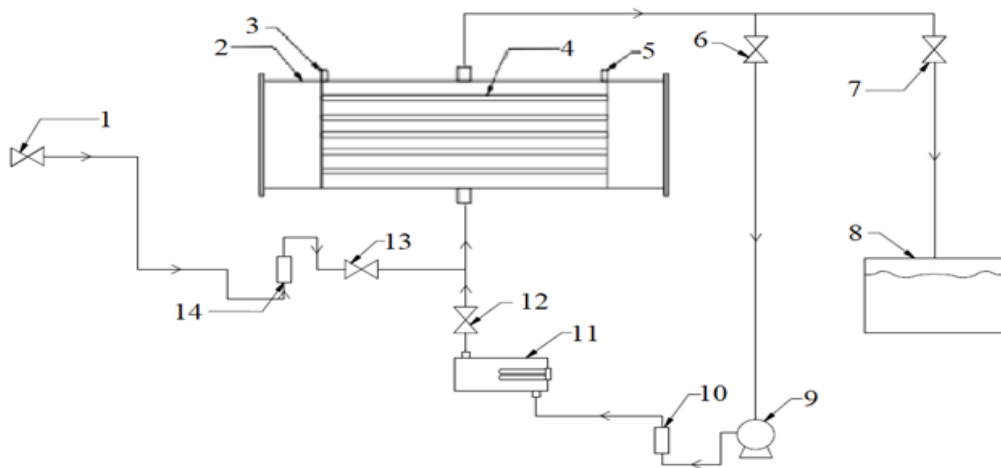
Software yang digunakan adalah software ANSYS Fluent 18.0 untuk simulasi CFD Logo ANSYS 18.0 di tunjukan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Logo ANSYS 18.0

### 3.2 Skema Penelitian Eksperimen

Skema penelitian eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3.2 Pada proses charging valve yang dibuka yaitu nomor 6 dan 12 dan yang ditutup nomor 1, 13, dan 7 Sedangkan pada proses *discharging* secara kontinu valve yang dibuka yaitu nomor 1, 13 dan 7 dan yang ditutup nomor 6 dan 12.



Gambar 3. 2. Skema Penelitian Eksperimen

Keterangan nomor :

1. Keran Air
2. Tangki TES
3. Lubang pipa masuknya termokopel
4. Pipa tembaga berisi campuran 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 air 1 LPM untuk charging
11. Heater
12. Valve keluarnya air dari heater ke tangki
13. Valve keluarnya air dari keran air ke tangki
14. Rotameter air 3 LPM untuk discharging secara kontinu

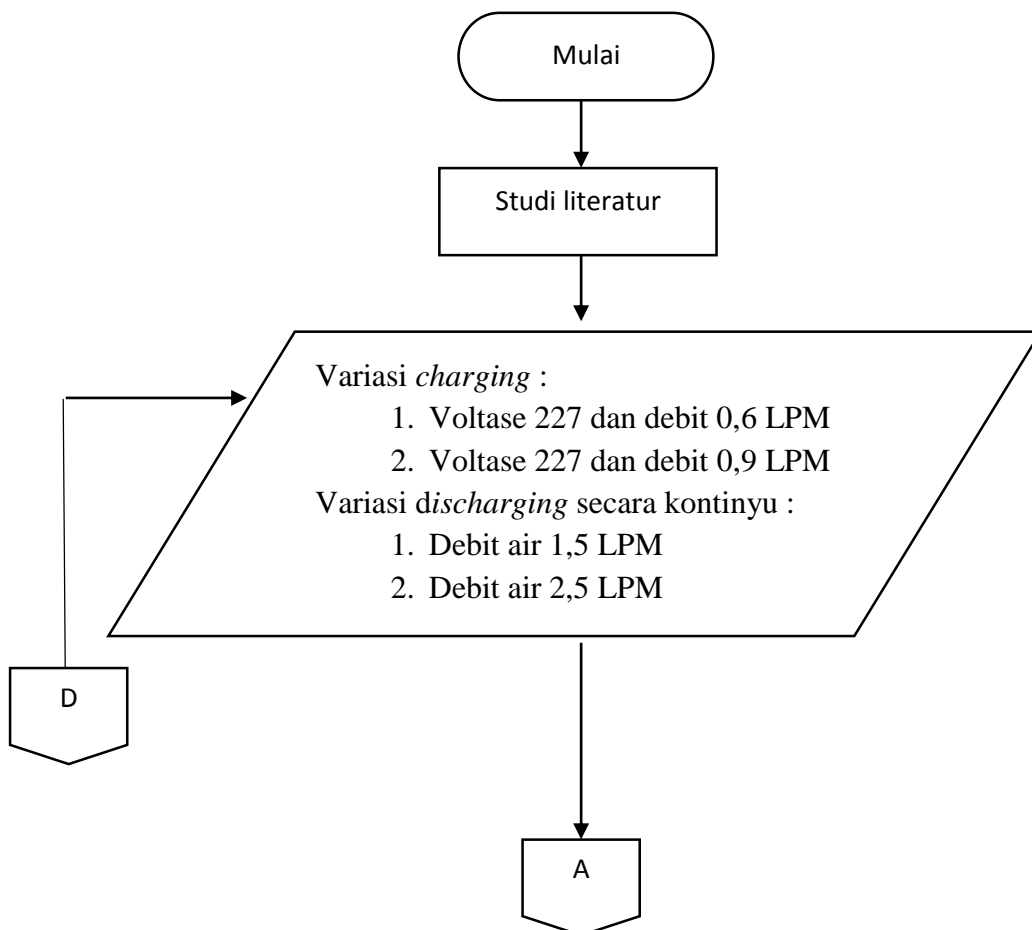
### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1. Variasi Penelitian

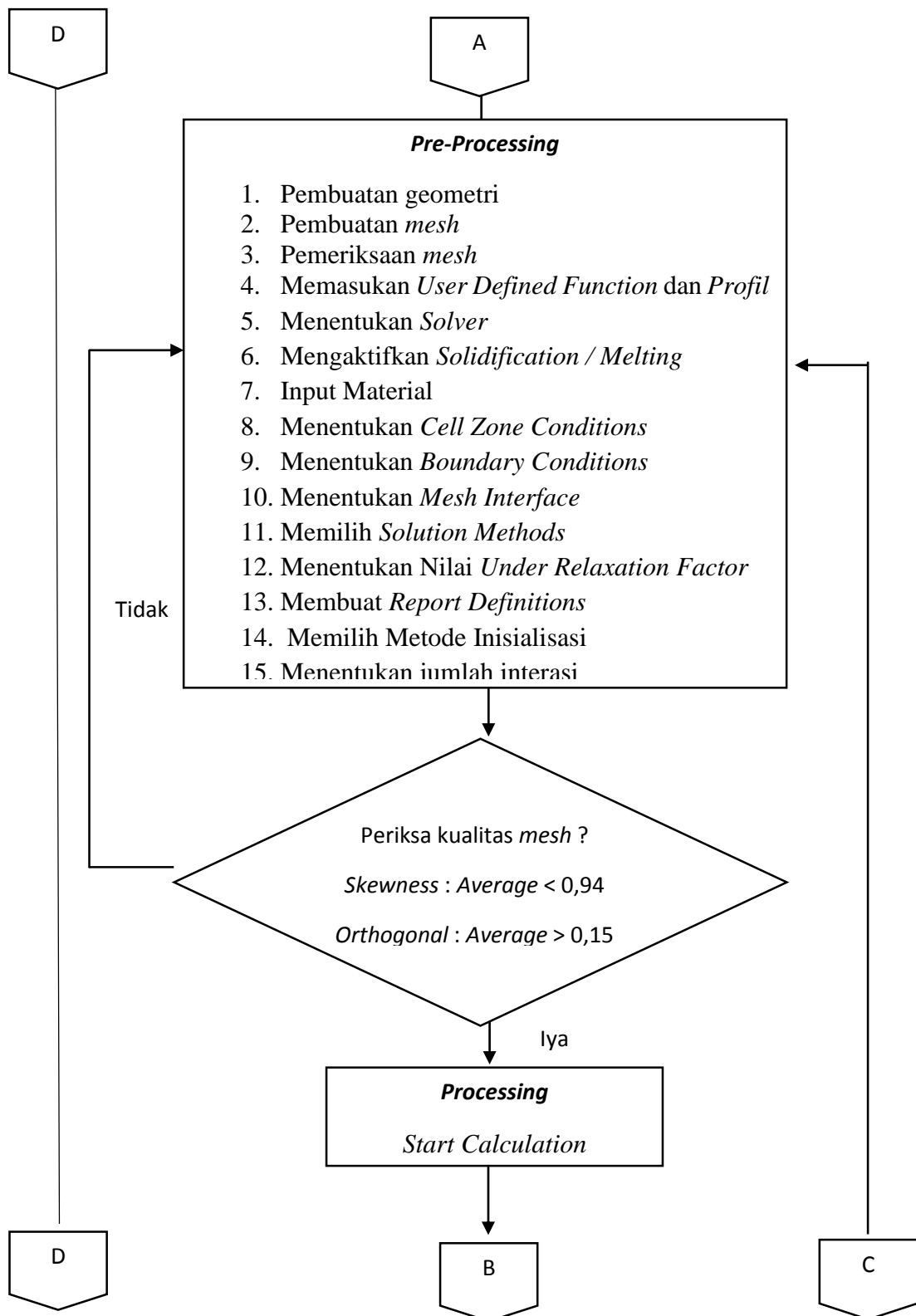
Variasi penelitian yang digunakan adalah variasi debit air masuk. *Charging* dengan variasi debit air masuk yaitu 0,6 LPM dan 0,9 LPM dengan pemanas *fluks* kalor 227 Volt, sedangkan untuk *discharging* variasi debit air masuk yaitu 1,5 LPM dan 2,5 LPM.

#### 3.3.2. Diagram Alir Penelitian

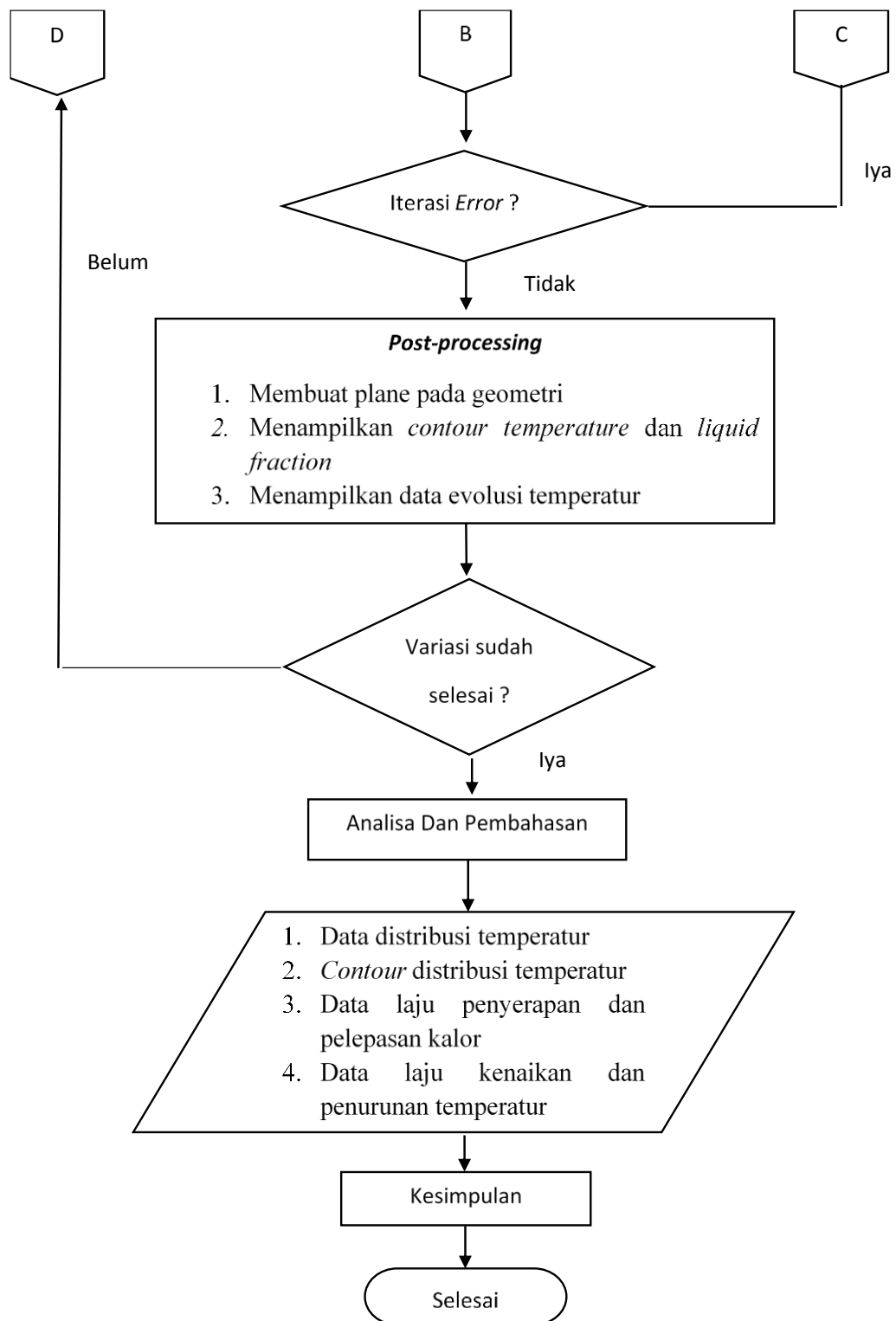
Pada penelitian ini menggunakan kerangka besar diagram alir sebagai berikut ini yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



Gambar 3. 3. Diagram alir Penelitian (lanjutan)

### 3.3.3. Langkah Penelitian

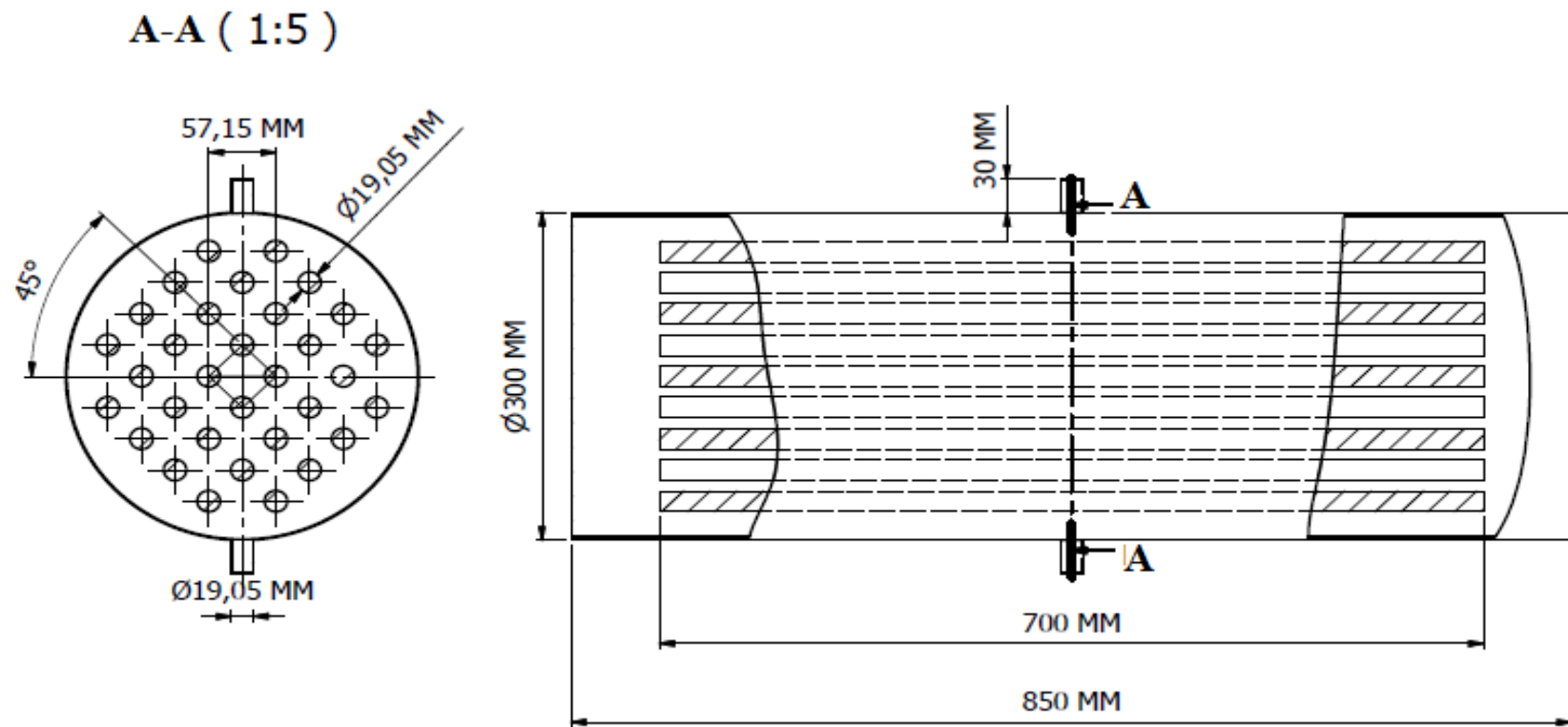
Pada penelitian ini diawali dengan studi literatur dengan mencari referensi teori dan jurnal, dilakukan untuk melihat *roadmap* dan perkembangan yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Selanjutnya melakukan proses simulasi CFD, pada dasarnya dibagi menjadi 3 proses yaitu *Pre-Processing*, *Processing*, dan *Post-Processing*.

#### 3.3.3.1. *Pre-Processing*

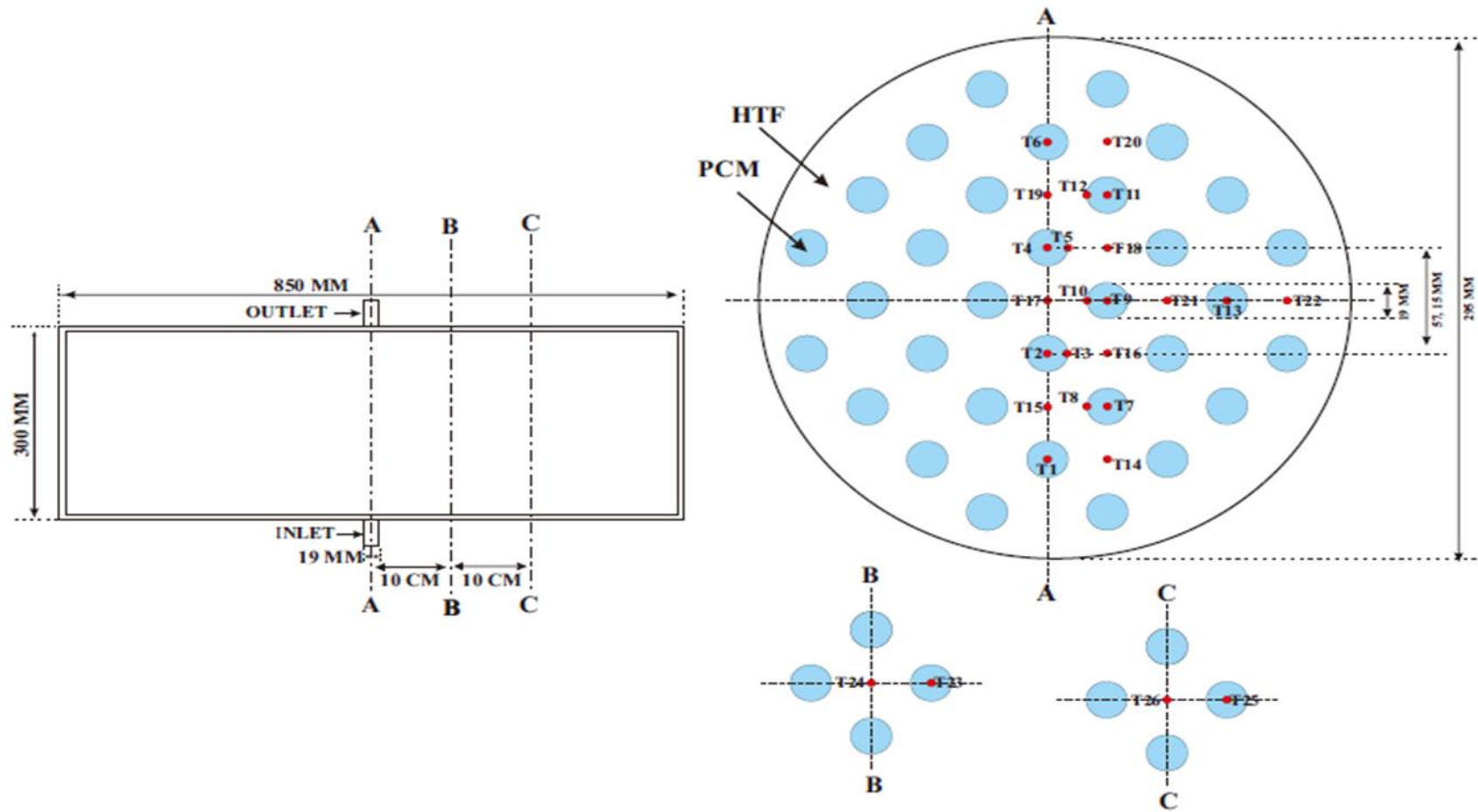
*Pre-Processing* merupakan tahapan awal yang dilakukan sebelum memulai simulasi. Berikut beberapa langkah yang ada pada proses *pre-processing* :

##### A. Pembuatan geometri

Bentuk geometri pada penelitian ini berbentuk silinder yang di dalamnya terdapat 32 pipa tembaga yang berisi PCM. Pada Gambar 3.4 bentuk geometri dan dimensinya dan 3.5 letak posisi termokopel menunjukkan. Aplikasi yang digunakan untuk membuat geometri menggunakan *design modeler* yang disediakan oleh *software* ANSYS Fluent 18.0 Hasil pembuatan geometri bisa dilihat gambar 3.6 dan gambar 3.7.

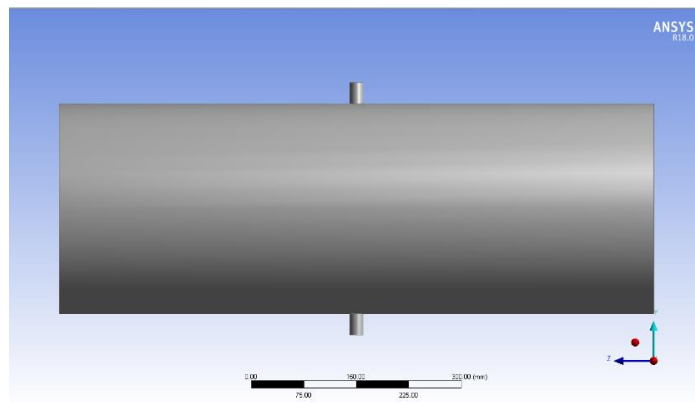


Gambar 3. 4. Dimensi geometri

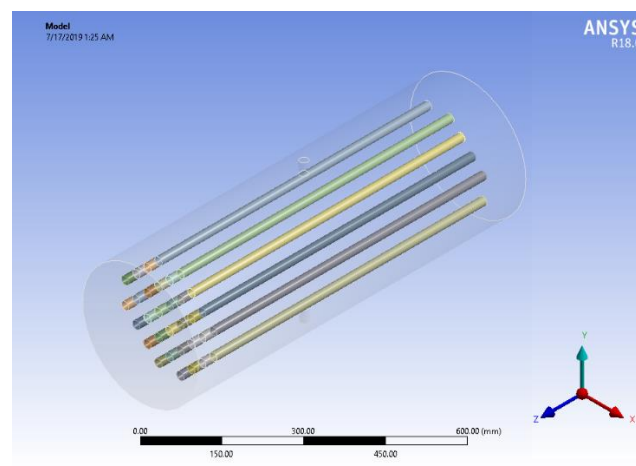


Gambar 3. 5. Posisi Letak Termokopel





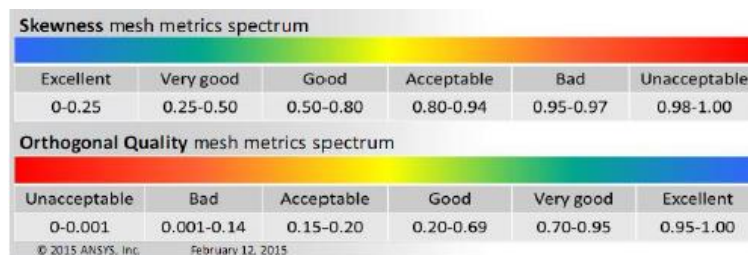
Gambar 3. 6. Hasil Geometri Arah Aksil



Gambar 3. 7. Hasil Geometri Arah *Isometric*

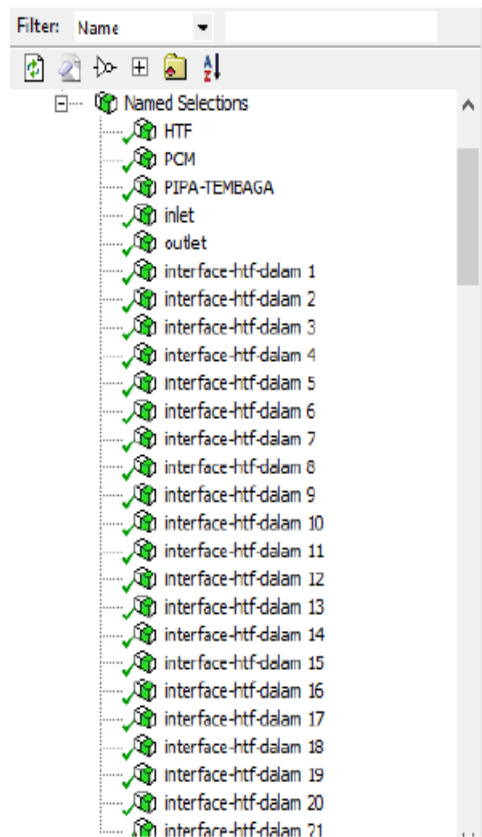
### B. Proses Meshing

Proses meshing yaitu membagi domain fluida menjadi volume-volume kecil agar dapat dianalisis oleh komputer sesuai dengan *metode finite volume method* (FVM). Tujuan dari *meshing* agar perhitungan yang akan dilakukan mendapatkan ketelitian dan akurasi yang baik. Semakin kecil ukuran *mesh* maka hasil yang didapatkan semakin baik, akan tetapi jumlah *mesh* juga akan semakin banyak sehingga proses komputasi membutuhkan waktu yang lebih lama. Pembuatan *meshing* dapat dilakukan menggunakan *software* yang disediakan oleh ANSYS Fluent atau menggunakan *software* lain seperti *software* Gamit. Jenis *mesh* yang digunakan pada HTF yaitu *tetrahedran* sedangkan pada pipa tembaga dan PCM yaitu *Hexahedran*. Hasil *meshing* dapat dilihat pada gambar 3.8.

Gambar 3. 8. Rentang kualitas *mesh*Tabel 3. 2. Kualitas *mesh* pada simulasi

Kategori	Nilai
<i>Skewness</i>	<i>Average :0,22065</i>
<i>Orthogonal</i>	<i>Average : 0,87725</i>
<i>Tipe</i>	Tetra dan Heksa
Jumlah <i>Elements</i>	703061
Jumlah <i>Nodes</i>	262730

Pada Tabel 3.2. Menunjukkan *skewness* yang didapat pada simulasi ini menunjukkan angka 0,22065 maka membandingkan dengan Gambar 3.8. Didapat hasil yang *excellent* sedangkan pada *orthogonal quality* menunjukkan angka 0,87725 maka didapat hasil *very good*. Setelah pengecekan kualitas *mesh* langkah selanjutnya menamai pada setiap bagian *mesh* untuk mendefinisikan nama pada setiap bagian *mesh* seperti *inlet*, *outlet*, *interface* dan *wall* seperti Gambar 3.9.



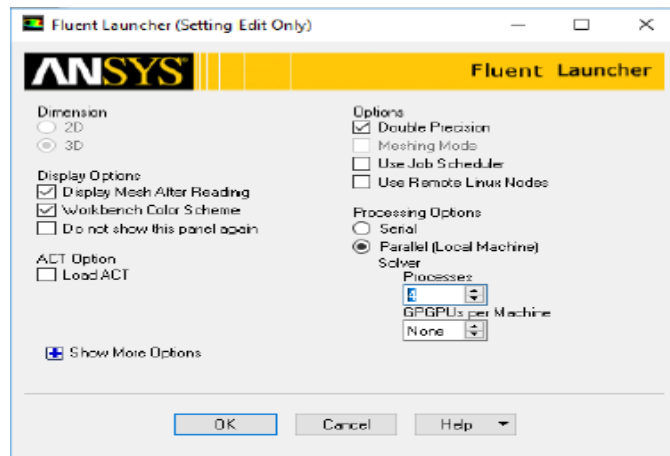
Gambar 3. 9. Pemberian nama pada setiap *part*

### 3.2.3.2. *Processing*

Tahap *processing* merupakan tahap kedua dalam proses simulasi ANSYS Fluent. Tahap ini dilakukan *set-up* ANSYS Fluent sesuai skenario eksperimen yang dilakukan. Secara umum konfigurasi Fluent meliputi :

#### 1. *Fluent launcher 18.0*

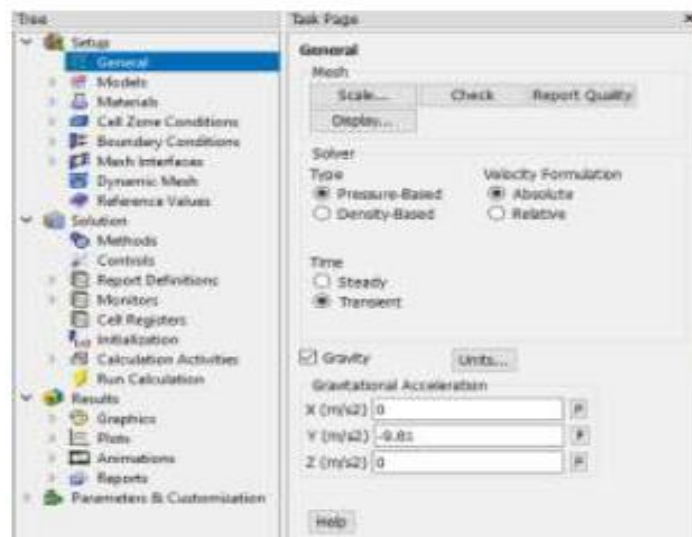
*Fluent launcher* merupakan skema awal penentuan simulasi. Proses ini menggunakan bentuk tiga dimensi, pada kolom *options* menggunakan *double precision* dan *processing option* menggunakan *parallel*. Pada simulasi ini akan menggunakan empat *core* Gambar 3.10.



Gambar 3. 10. Tampilan *Fluent launcher* 18.0

## 2. General

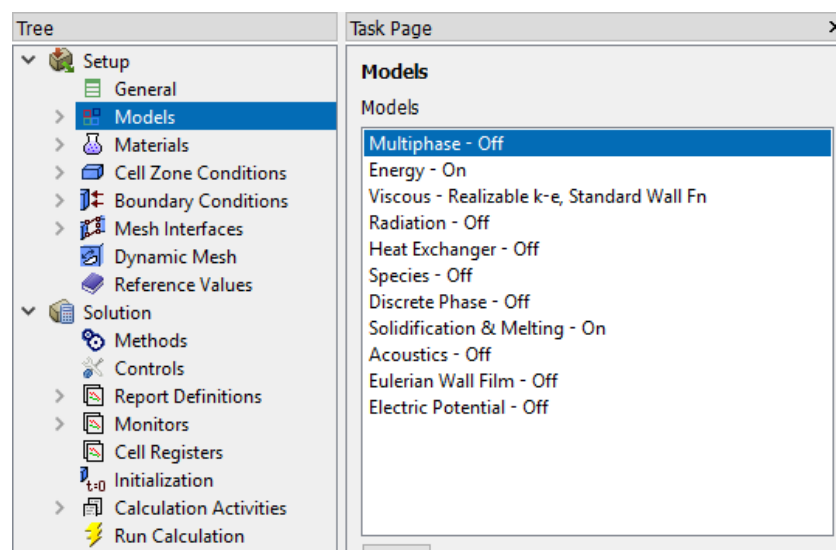
Pada tahap general terdapat dua *type solver* yaitu *pressure-based* dan *density-based* dan dua *time solver* yaitu *steady* dan *transient*. Pada tahap ini *type solver* yang digunakan *type pressure-based* dikarenakan dapat digunakan pada aliran yang luas mulai dari aliran dengan kecepatan rendah hingga aliran kecepatan tinggi. Sedangkan untuk *time solver* menggunakan *transient* karna variable pada simulasi tergantung oleh waktu. serta faktor gravitasi juga diaktifkan pada titik kordinat (-y) dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11. Panel *general*

### 3. Penentuan *models*

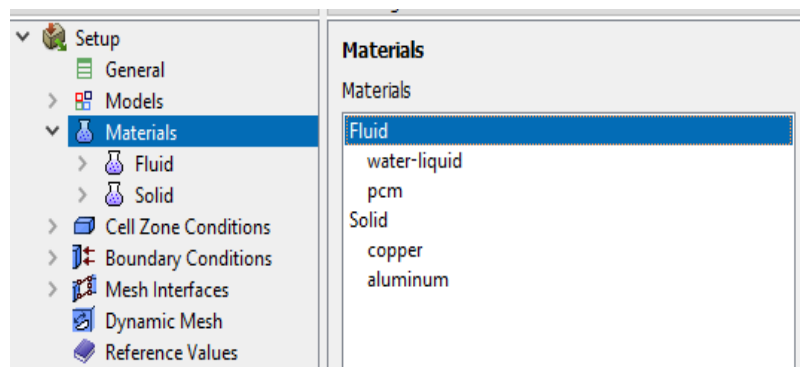
Pada *software* ANSYS Fluent dapat dilakukan simulasi model *charging* dan *discharging* dengan cara mengaktifkan *solidification & melting*. *Viscous* yang dipilih yaitu model *K-epsilon* karena simulasi ini mengasumsikan aliran turbulen dan model *K-epsilon* memiliki kestabilan pada alirannya serta ekonomis dari sisi komputasi dan akurasi yang memadai untuk berbagai jenis aliran turbulen. Pada Gambar 3.12. ditunjukkan panel tampilan *models*.



Gambar 3. 12. Panel tampilan *models*

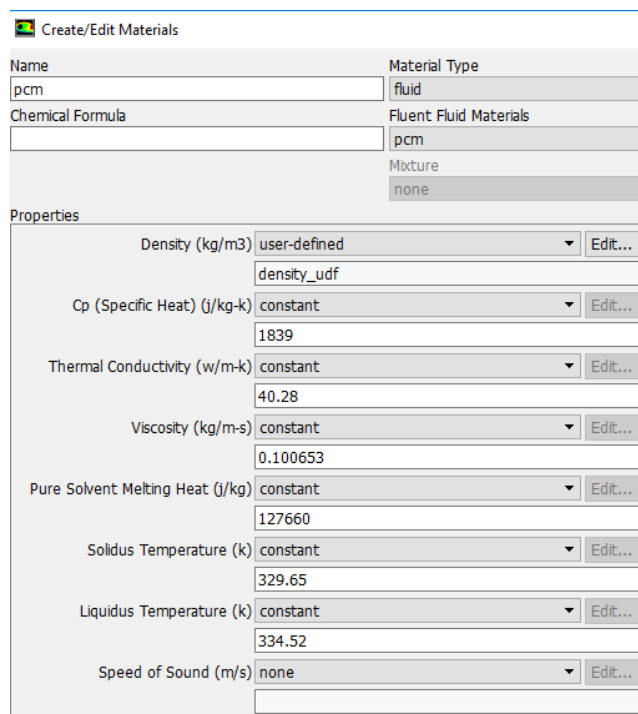
### 4. Parameter Material

Penelitian simulasi ini menggunakan air sebagai *heat transfer fluid* (HTF), pipa PCM terbuat dari tembaga dan *paraffin wax* sebagai PCM. Material tersebut perlu didefinisikan sesuai dengan propertinya agar hasil perhitungan pada simulasi menjadi lebih akurat. Properti *material* dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3. 13. Panel properti *material*

Properti pada material HTF dan pipa tembaga dapat diambil dari property yang disediakan oleh ANSYS Fluent dapat dilihat pada Gambar 3.14. Jika terdapat material yang menggunakan UDF, maka fungsi UDF perlu diinterpretasikan terlebih dahulu. Di dalam penelitian ini fungsi densitas didefinisikan menggunakan UDF dengan persamaan 2.11. Pembuatan UDF sendiri menggunakan *software* ATOM dengan bahas pemrograman C.



Gambar 3. 14. Properti Phase Change Material (PCM)

Untuk memasukkan parameter PCM perlu merujuk pada properti yang telah diukur. Pada Tabel 3.3. menjelaskan klasifikasi jenis zona pada ANSYS Fluent 18.0 dan pada Tabel 3.4. menunjukkan nilai properti PCM. Data titik beku dan titik leleh diambil dari hasil pengujian DSC dengan material paraffin wax yang dapat dilihat pada gambar 3.15. Setelah mendapatkan data pada Tabel 3.3. dan Tabel 3.4. Maka data tersebut diisi pada panel properti PCM ditunjukkan Pada gambar 3.16.

Tabel 3. 3. Klasifikasi jenis zona

<i>Material</i>	Jenis zona
<i>Copper</i>	<i>Solid</i>
<i>Water-liquid</i>	<i>Fluid</i>
PCM	<i>Fluid</i>

Pententuan nilai sifat-sifat fisik dan termal dari PCM didapatkan dari hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan. Nilai properti yang didapatkan dari pengujian adalah sebagai berikut :

a. Densitas fase padat dan cair

Nilai densitas fase padat dan cair menggunakan nilai densitas RT-60. Dipilihnya RT-60 karena pada pengujian DSC didapatkan hasil melting pointnya 60<sup>0</sup>.

b. Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan dengan cara, menjatuhkan bola ke dalam gelas ukur yang berisi PCM dalam fase cair. Sebelumnya, bola diberi tali sepanjang tinggi gelas ukur dan diujung tali diberikan batang yang berfungsi sebagai penahan. Saat menjatuhkan bola, catatlah waktu dengan cara merekamnya lewat *handphone*. Kemudian dilakukan perhitungan dengan persamaan 3.1.

$$\mu = \frac{2(\rho_s - \rho_l)g \cdot r}{9v} \dots\dots\dots(3.1)$$

$\mu$  = Viskositas (Pa.s)

$\rho_s$  = Densitas bola ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_l$  = Densitas campuran PCM ( $\text{g/m}^3$ )

$g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$r$  = Jari-jari bola (m)

$v$  = Kecepatan bola (m/s)

Diketahui :

$$\rho_s = 7,46 \text{ g/cm}^3$$

$$r = 0,004 \text{ m}$$

$$\rho_l = 0,77 \text{ g/cm}^3$$

$$v = 1,5 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Persamaan 3.2 dapat digunakan untuk menghitung nilai viskositas *paraffin wax* yakni :

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{2(7,46 \text{ g/cm}^3 - 0,77 \text{ g/cm}^3)9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,004 \text{ m}}{9 \cdot 1,5 \text{ m/s}} \\ &= 0,077321844 \text{ Pa.S} \end{aligned}$$

c. Kalor Lebur

Nilai kalor lebur didapatkan dari pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Hasil pengujian DSC dapat dilihat pada lampiran.

d. Titik Beku dan Titik Leleh

Nilai titik beku dan titik leleh didapatkan dari nilai *onset* pada pengujian DSC. Sedangkan pada titik leleh diperoleh dari nilai *peak* pada pengujian DSC.



Tabel 3. 4. Nilai properti PCM

Kriteria	Satuan	Nilai
Densitas fase padat *T = 28 °C	kg/m <sup>3</sup>	865
Densitas fase cair *T = 68 °C	kg/m <sup>3</sup>	810,8
Konduktivitas termal	W/m.K	0,2
Kalor lebur	J/kg	128640
Viskositas	kg/m.s	0,077322
Titik beku	°C	57.08
Titik leleh	°C	62,08
Cp	J/kg.K	2000

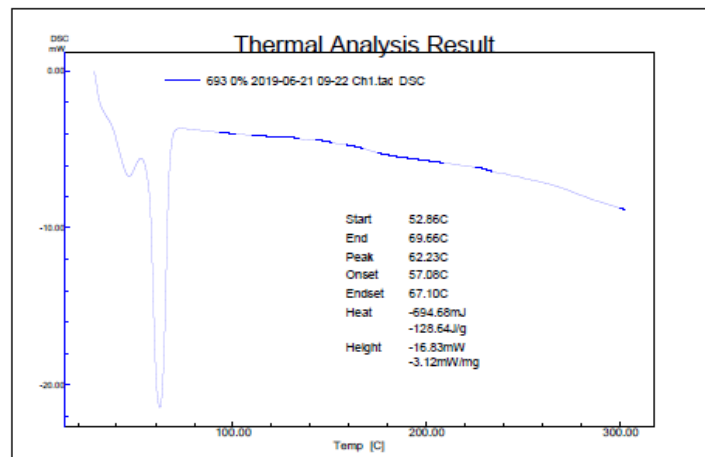
## LAMPIRAN HASIL ANALISIS

## 1. 0%

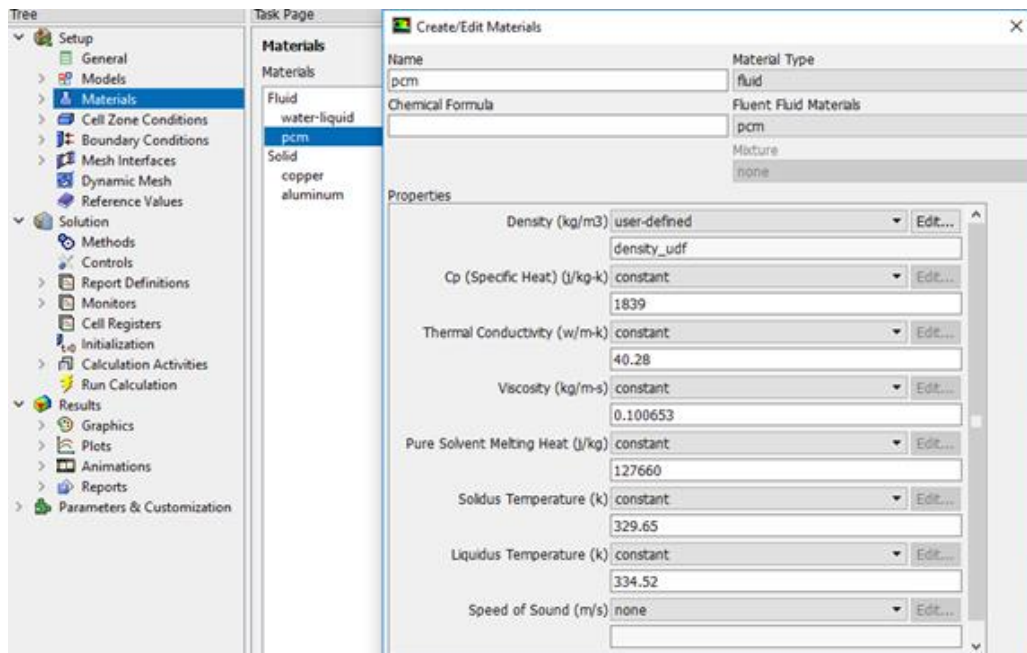
[File Information]		[Temp Program]	
File Name:	693 0% 2019-06-21 09-22 Ch1.tad	Start Temp [°C]	30
Sample Name:	0%	Temp Rate [°C/min]	10
Lot No:	693	Hold Temp [°C]	300
Acquisition Date	2019/06/21	Hold Time [min]	0
Acquisition Time	09:22:30(+0700)	Gas	Nitrogen
Detector:	DSC-60		
Serial No:	C30935200137SA		
Operator:	Heri		
Atmosphere:	Nitrogen		
Flow Rate:	30(ml/min)		
Cell:	Aluminum Seal		
Sample Weight:	5.400[mg]		
Molecular Weight:	0.00		

## [Analysis Result]

[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



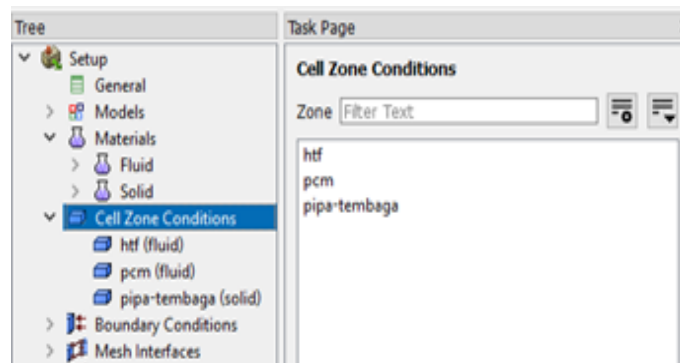
Gambar 3. 15. Hasil uji DSC parafin wax



Gambar 3. 16. Panel properti PCM

##### 5. Penentuan *cell zone conditions*

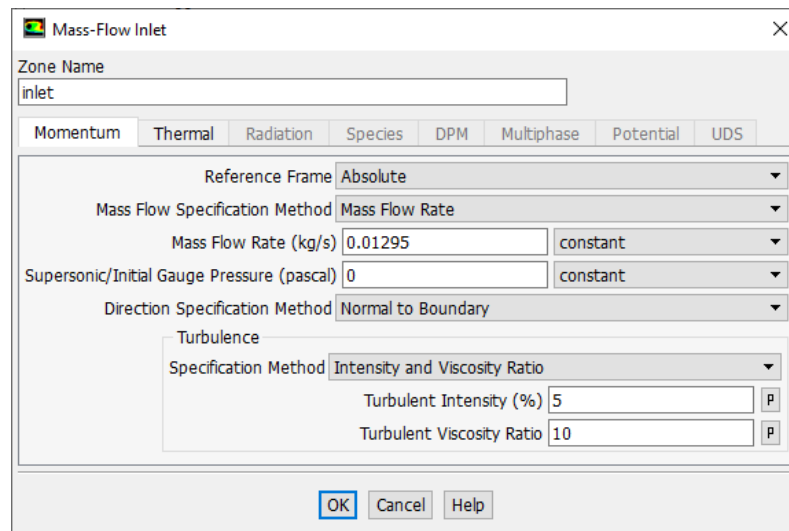
Pada tahap ini mendefinisikan bagian-bagian yang akan digunakan pada masing-masing bagian (*zone*) akan disesuaikan berdasarkan jenis *material* yang digunakan. Pada simulasi terdapat 3 jenis *zone* yaitu HTF, PCM dan pipa tembaga, panel tampilan *zona cell* dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3. 17. *Cell zone conditions*

## 6. Penentuan *boundary conditions*

*Boundary conditions* berfungsi untuk menentukan kondisi batas pada tiap zona. Pada tahap ini berguna untuk menentukan debit air dan temperatur air pada *inlet*. Pada kondisi inlet menggunakan *mass flow inlet* dan *outlet* menggunakan *pressure outlet* sebesar 1 atm. Pada *inlet* menggunakan debit aliran air yang besarnya dapat dilihat pada tabel 4.4. Penggunaan *profile* dipakai untuk data temperature *inlet* pada proses charging dan debit air pada proses discharging secara bertahap. Temperature *inlet* menggunakan profil yang dibuat menggunakan notepad dengan format PROF lalu di *import* ke dalam ANSYS Fluent sehingga ANSYS Fluent akan mendeteksi fungsi dari profil tersebut. Data yang digunakan pada temperature inlet berasal dari pengujian eksperimen Gambar 3.18. menunjukkan panel *boundary condition* pada *inlet*.



Gambar 3. 18. Panel *boundary condition*

*Mass Flow Rate* Didapat dari persamaan :

### 1. Proses *Charging*

$$Q_{\text{aktual}} = 0,9211 \times Q_{\text{rotameter}} - 51,725 \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{aktual}} &= 0,9211 \times 900 \text{ mLPM} - 51,725 \\ &= 777,265 \text{ mLPM} \end{aligned}$$

$$\dot{m} = \frac{LPM \times \rho_{air}}{60 \times 1000} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\dot{m} = \frac{0,777265 LPM \times 1000}{60 \times 1000} = 0,01295 \text{ kg/s}$$

## 2. Proses Discharging

$$Q_{aktual} = 1,1526 \times Q_{rotameter} + 0,0552 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$Q_{aktual} = 1,1526 \times 1,5 \text{ LPM} + 0,0552$$

$$= 1,7841 \text{ LPM}$$

$$\dot{m} = \frac{LPM \times \rho_{air}}{60 \times 1000} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\dot{m} = \frac{1,7841 \text{ LPM} \times 1000}{60 \times 1000} = 0,029735 \text{ kg/s}$$

$$Q_{aktual} = 1,1526 \times Q_{rotameter} + 0,0552 \dots\dots\dots (3.6)$$

$$Q_{aktual} = 1,1526 \times 2,5 \text{ LPM} + 0,0552$$

$$= 2,9367 \text{ LPM}$$

$$\dot{m} = \frac{LPM \times \rho_{air}}{60 \times 1000} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\dot{m} = \frac{2,9367 \text{ LPM} \times 1000}{60 \times 1000} = 0,048945 \text{ kg/s}$$

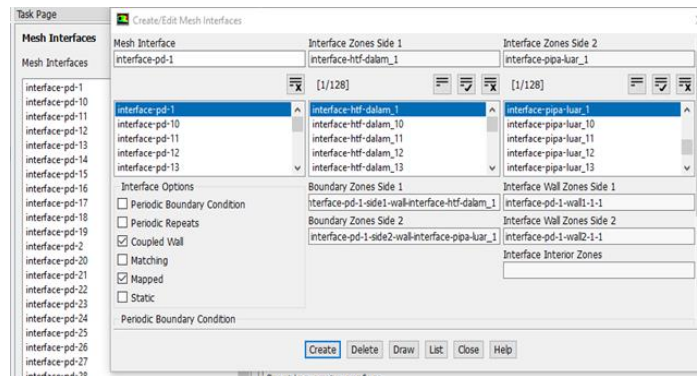
Tabel 3.1. Parameter Kondisi Batas

<i>Charging</i>						
Laju Aliran Massa (LPM)	Kondisi Batas			Temperatur		
	$\dot{m}$ (kg/s)	T inlet (K)	T outlet (K)	HTF (K)	Kapsul (K)	PCM (K)
0,9	0,01295	<i>Profil</i>	<i>Default</i>	300	300	300
<i>Discharging</i>						
1,5	0,029735	300	<i>Default</i>	343	343	343
2,5	0,048945	300	<i>Default</i>	343	343	343



## 7. Penentuan *mesh interface*

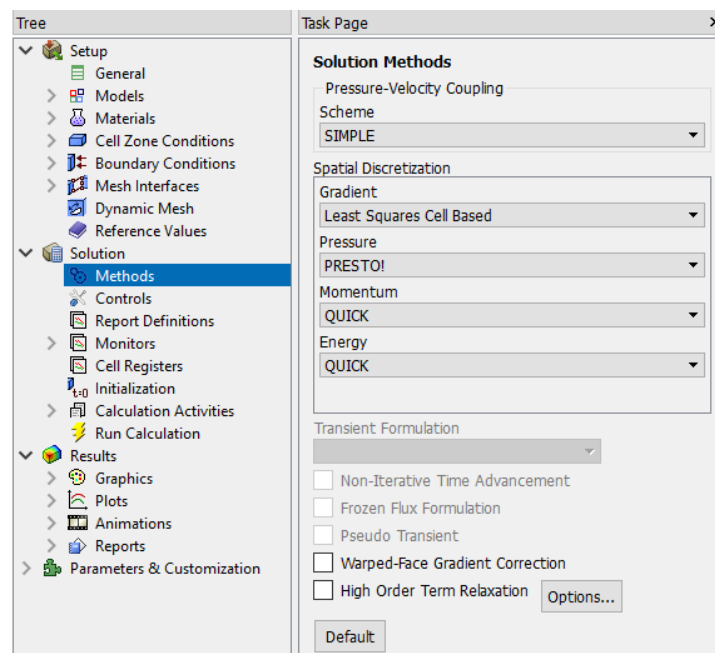
*Mesh interface* yaitu untuk menyambung antar *zone* dengan *zone* lainnya. Penelitian ini menggunakan *interface mapped* dan *coupled* dikarenakan adanya gap dan *overlap* antara *zone*. Panel *interface* dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3. 19. Panel *mesh interface*

## 8. *Methods*

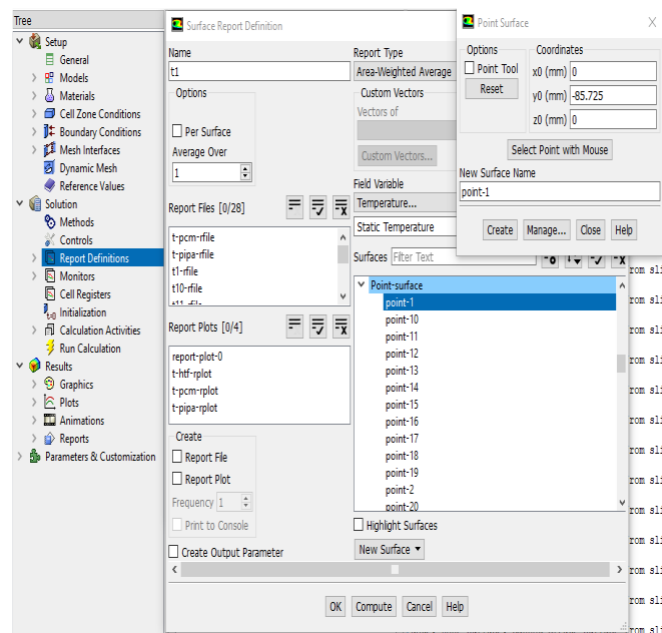
Pada penelitian ini menggunakan metode *SIMPLE* yang berada pada menu *methods*. *Methods* berfungsi untuk menentukan berbagai parameter apakah perhitungan pada simulasi berjalan dengan stabil sehingga dapat menghasilkan perhitungan akurat dapat dilihat dari gambar 3.20 panel *methods*.



Gambar 3. 20. Panel *methods*

## 9. Report Definitions

*Report definitions* digunakan untuk penentuan titik termokopel gambar 3.21, yang direport file dalam bentuk notepad, tetapi sebelum itu harus membuat point yang diisidengan titik kordinat yang telah ditentukan. Tahap ini bertujuan untuk memberikan data yang dibutuhkan seperti *temperature, pressure, velocity*, dan lainnya.

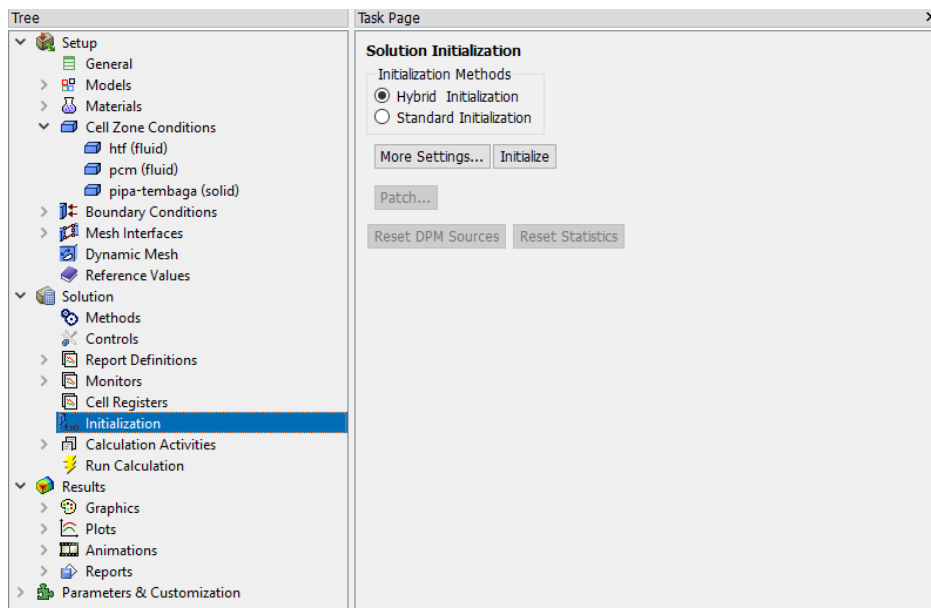


Gambar 3. 21. Panel *report definition*

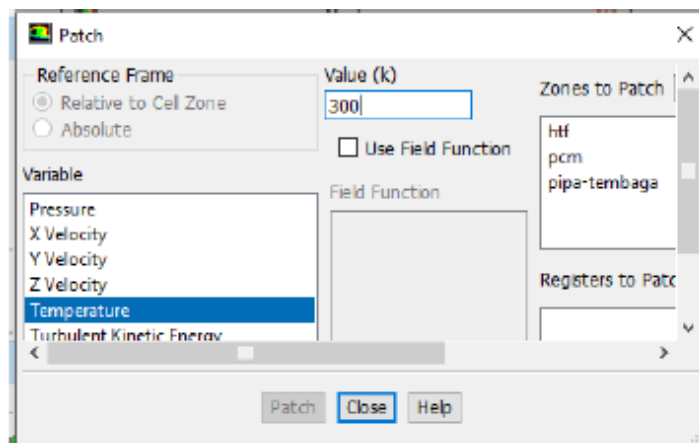
## 10. Solution initialization

Solutions intializaton digunakan untuk inisialisasi bidang pada saat simulasi. Pada simulasi ini initializations methods menggunakan hibryd initializations gambar 3.22 untuk menentukan nilai variable aliran dan menginialisasi nilai bidang aliran. Selain itu digunakan untuk mengatur temperatur awal sebelum simulasi seperti gambar 3.23.





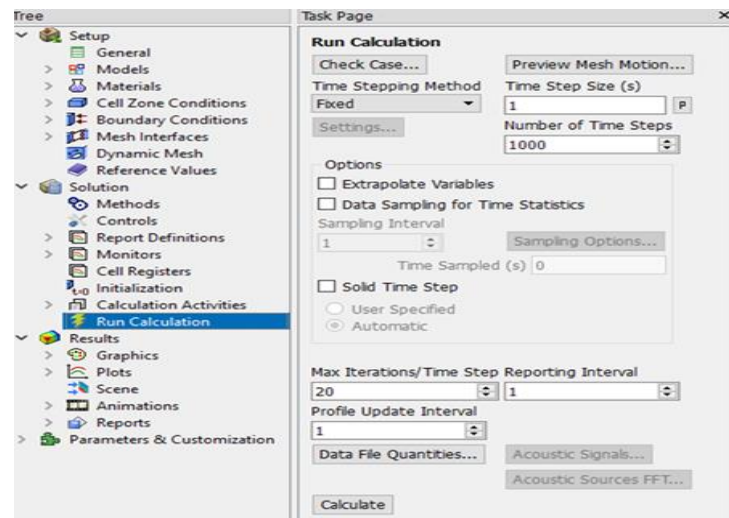
Gambar 3. 22. Panel solution initalizion



Gambar 3. 23. Temperatur awal simulasi

### 11. Run calculation

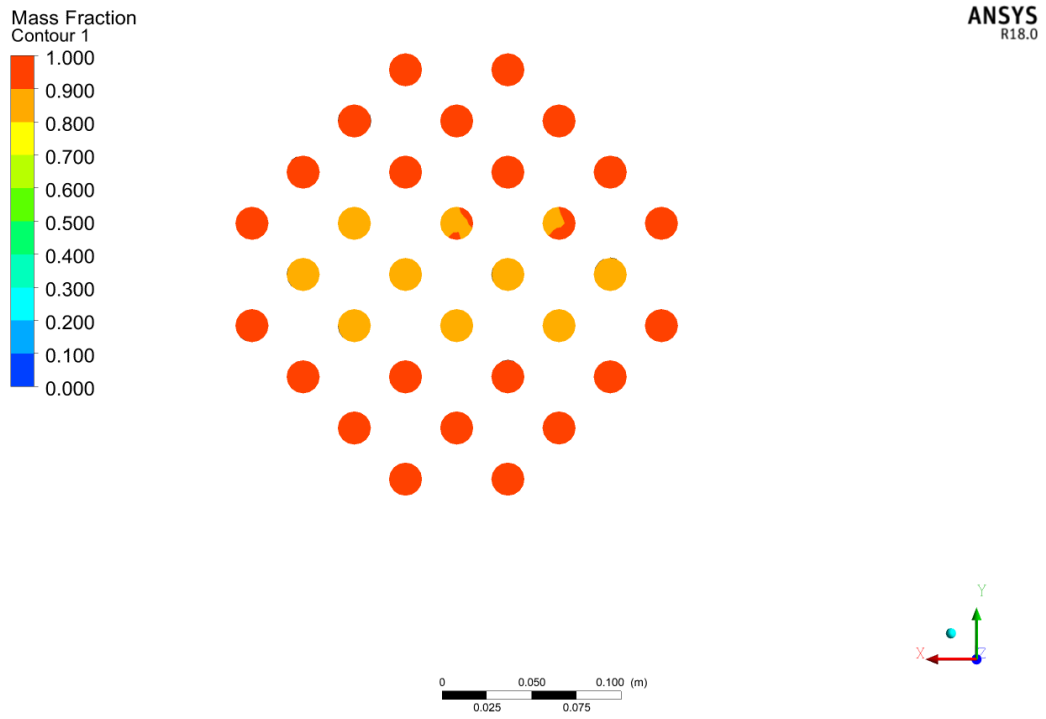
*Run calculation* merupakan tahap akhir sebelum memulai *iterasi solver*. Pada penelitian ini menggunakan time solver dengan kondisi transient, oleh karna itu penentuan jumlah *time step* akan mempengaruhi kesuksesan dari simulasi numerik. Time step yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 1 *time step* dan *number of time step* sebanyak 1000 dan *max iterations/time step* sebanyak 20 gambar 3.24. Proses interasi dilakukan hingga temperatur pada termokopel sudah mencapai 343 K untuk *charging* dan 308 K untuk *discharging*.



Gambar 3. 24. Panel tampilan *calculation*

### 3.2.3.3. *Post-Processing*

*Post-Processing* merupakan proses menampilkan hasil dari perhitungan yang sudah dilakukan. Pada tahap ini hasil dari simulasi dapat ditampilkan dalam bentuk *contour* dan animasi. Pada penelitian ini variable bebas yang dipakai adalah debit aliran dan *temperature inlet*, sementara variable terikatnya yaitu evolusi *temperature*, *contour* pelelehan dan pembekuan, dan waktu pelelehan dan pembekuan. Pada Gambar 3.25 merupakan hasil dari *contour* pelelehan.



Gambar 3. 25. Hasil contour pelelehan pada PCM.