

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Alat Penelitian

Penelitian simulasi ini memerlukan beberapa alat yang digunakan yaitu *hardware* dan *software*.

1. *Software* yang digunakan adalah *ANSYS Fluent* 18.0 untuk simulasi CFD. Logo *ANSYS* 18.0 ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Logo *ANSYS* 18.0

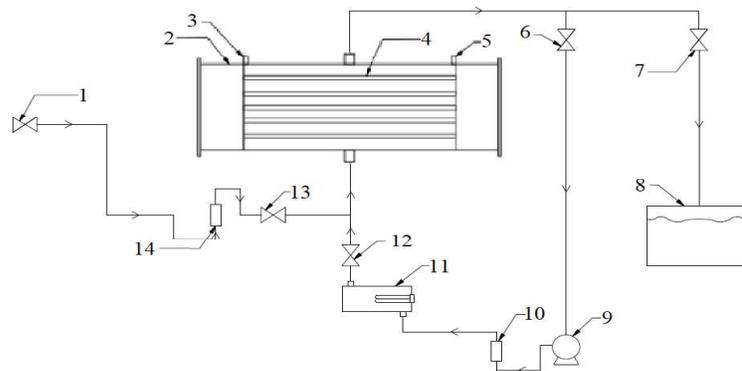
2. *Hardware* yang digunakan untuk menjalankan *software ANSYS Fluent* 18.0 memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Perangkat Komputasi

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

### 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 bertahap *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 bertahap

### 3.3. Prosedur Penelitian

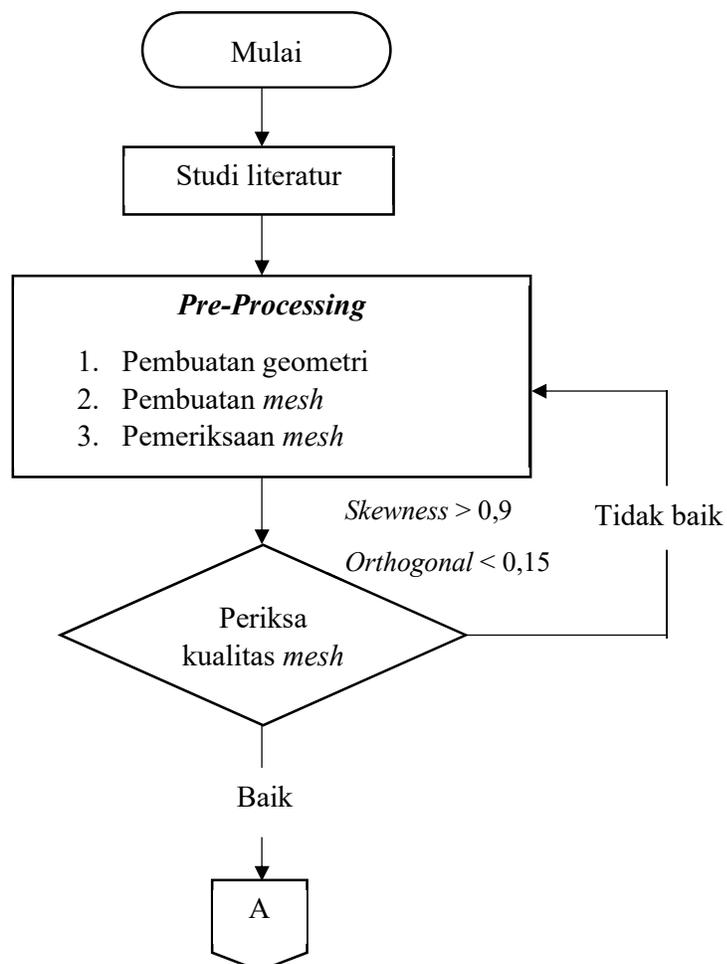
#### 3.3.1. Variasi Penelitian

Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu, sebagai berikut :

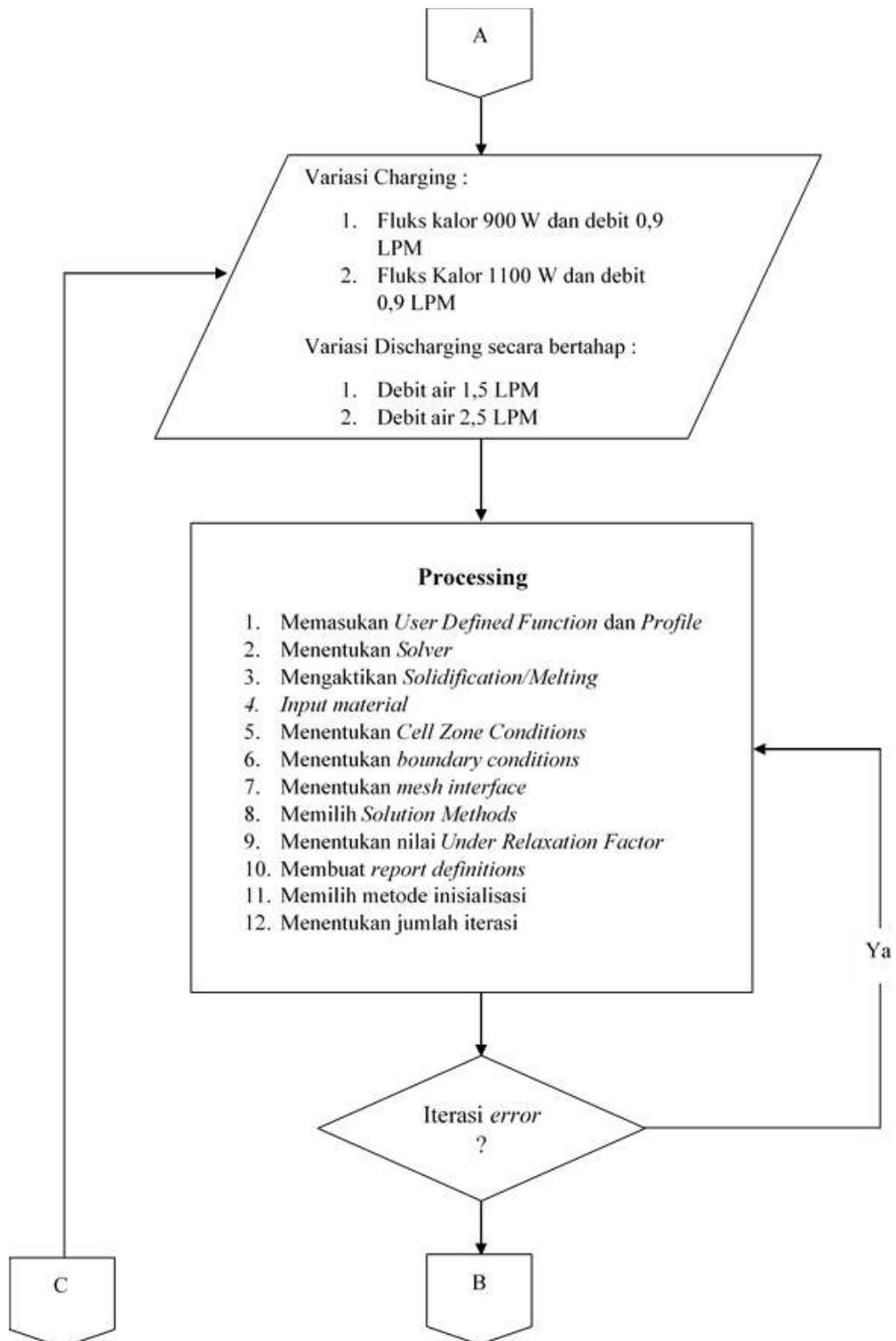
1. Pada proses *charging* menggunakan variasi fluks kalor dengan daya *heater* 900 W dan 1100 W.
2. Pada proses *discharging* secara bertahap dengan jeda waktu lima menit menggunakan variasi debit air 1,5 LPM dan 2,5 LPM.

#### 3.3.2. Diagram Alir Penelitian

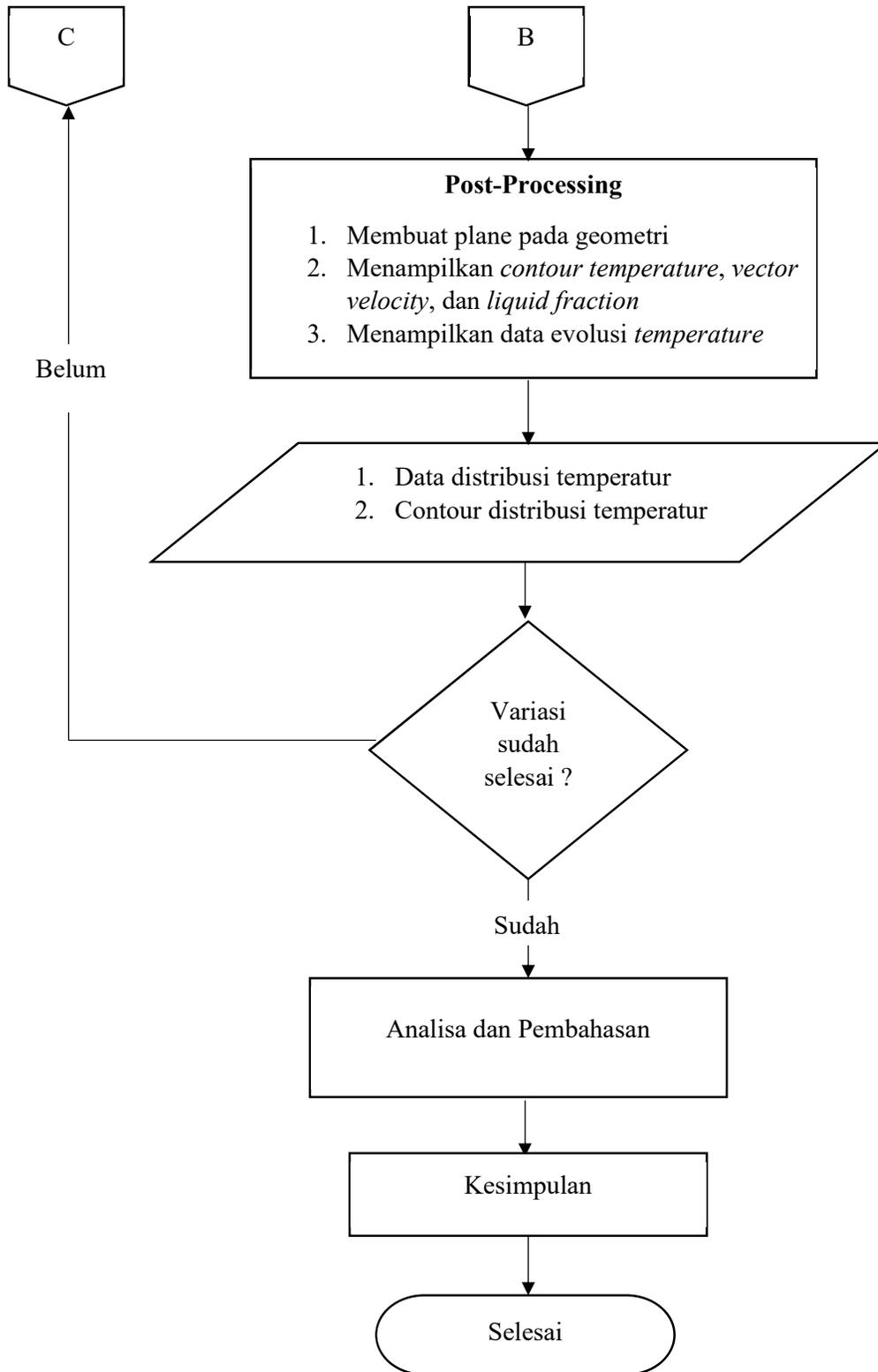
Pada penelitian ini menggunakan kerangka besar diagram alir sebagai berikut ini yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 .



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

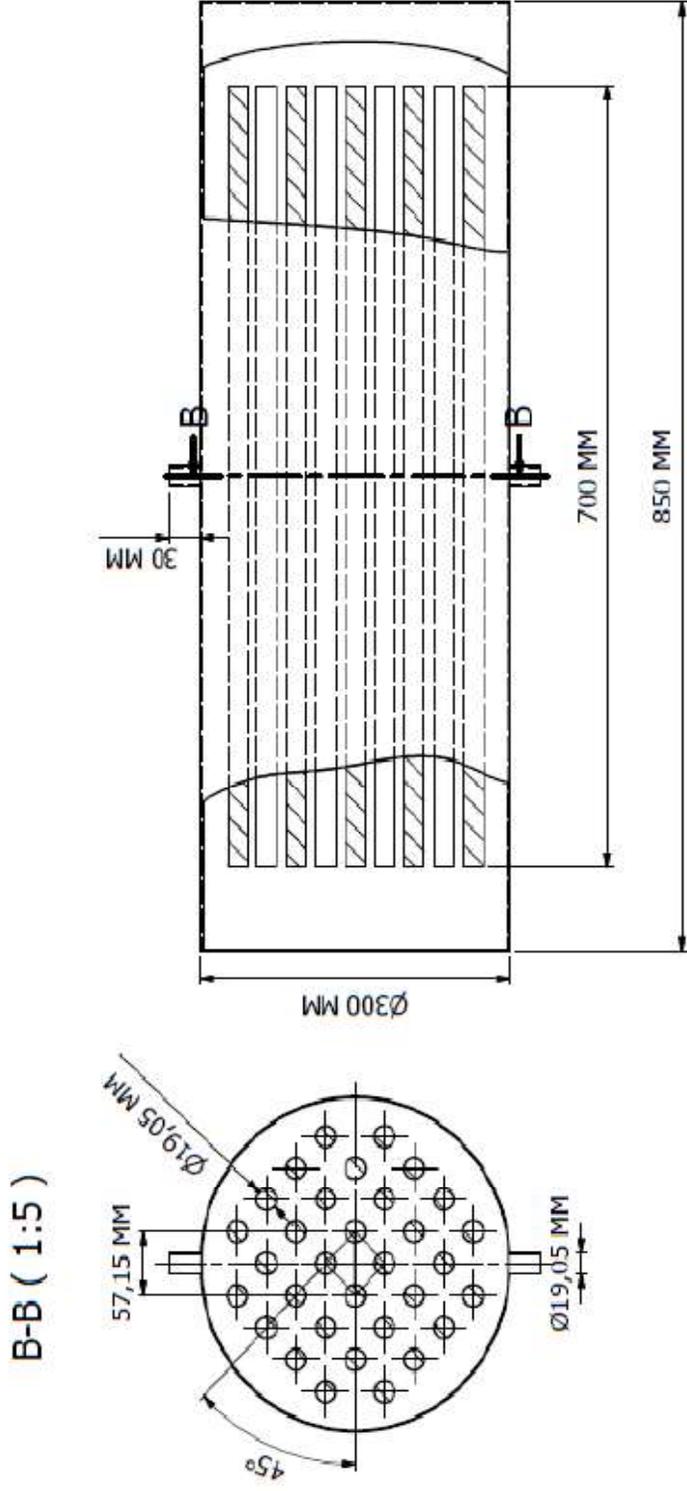
Penelitian ini dimulai dengan mencari referensi teori dan jurnal yang relevan untuk kasus penelitian ini. Selanjutnya mempersiapkan alat dan bahan simulasi. Seperti meng-*install ANSYS Fluent 18.0* pada perangkat komputasi dan mempersiapkan data-data yang akan diinput pada *ANSYS Fluent 18.0*. Pada proses simulasi terbagi menjadi tiga proses yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

#### 3.3.3.1. *Pre-Processing*

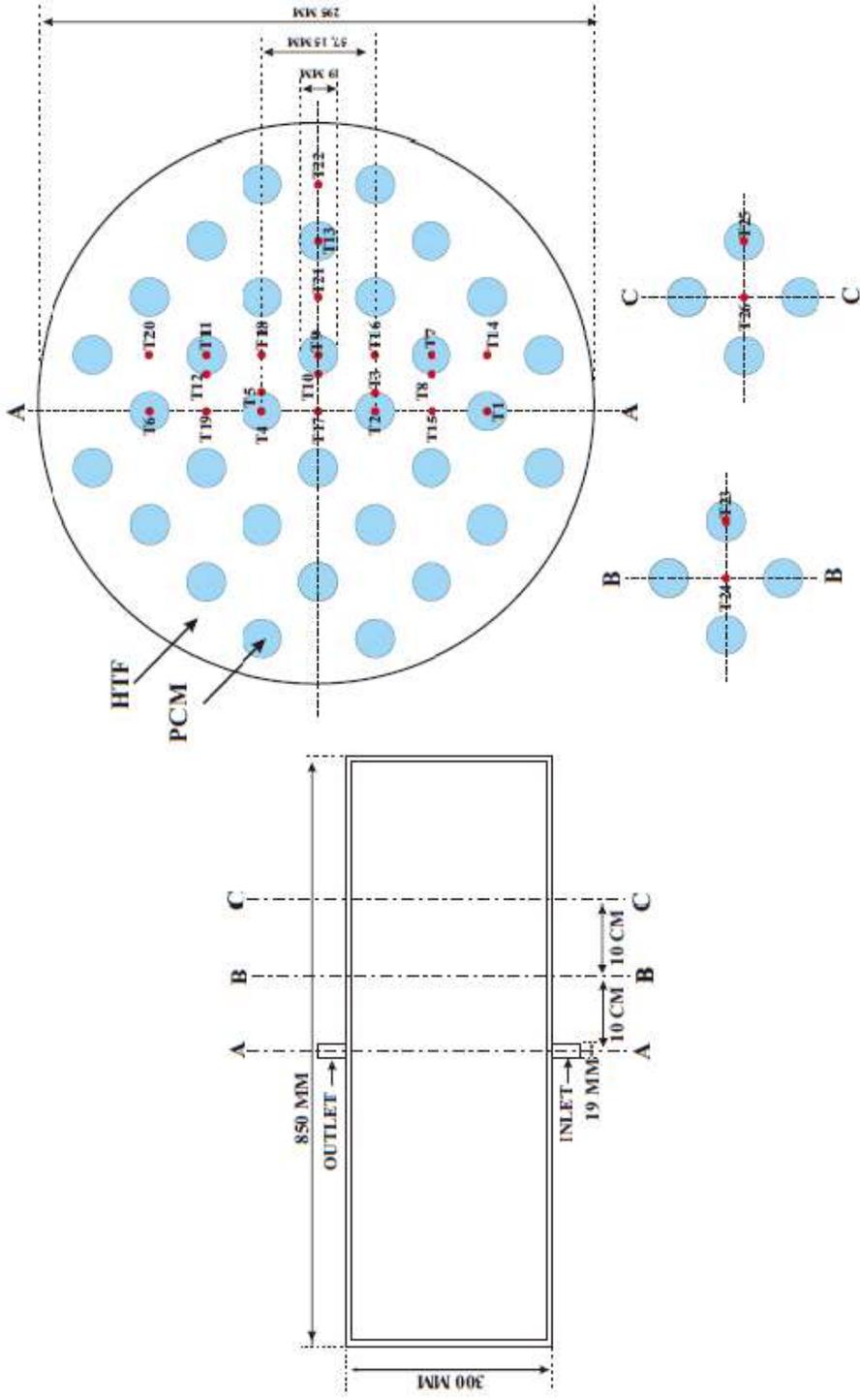
*Pre-processing* merupakan tahap awal yang dilakukan pada proses simulasi CFD. Berikut ini adalah langkah-langkah yang dibuat dalam tahap *pre-processing* :

1. Pembuatan Geometri

Bentuk geometri pada penelitian ini berbentuk silinder yang di dalamnya terdapat 32 pipa tembaga yang berisi PCM. Pembuatan geometri dilakukan pada software bawaan *ANSYS* yaitu *Design Modeler*. Pada Gambar 3.3 menunjukkan bentuk geometri dan dimensinya dan pada Gambar 3.4 menunjukkan posisi dari 25 termokopel.



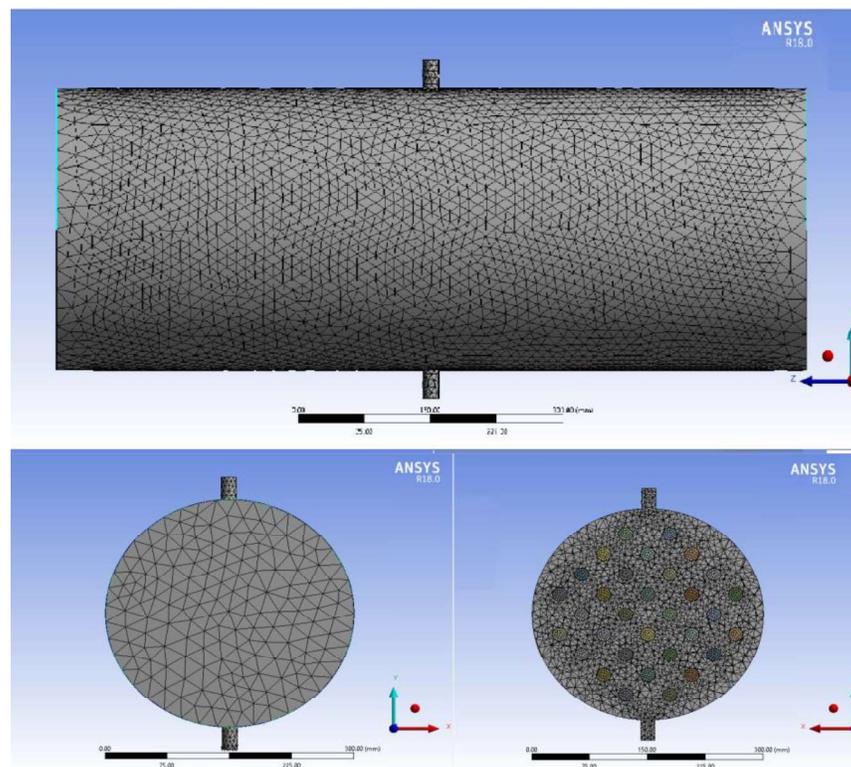
Gambar 3.4. Geometri Tangki berisi 32 Pipa Tembaga



Gambar 3.5. Posisi Termokopel pada Tangki

## 2. Pembuatan *Mesh*

*Mesh* berfungsi untuk membagi domain menjadi volume-volume kecil yang dianalisa oleh komputer. Pembuatan *mesh* dapat dilakukan dengan menggunakan *software* bawaan ANSYS ataupun *software* lainnya. Pada penelitian ini pembuatan *mesh* menggunakan *software* bawaan ANSYS 18.0. Hasil pembuatan *mesh* bisa dilihat pada Gambar 3.6.

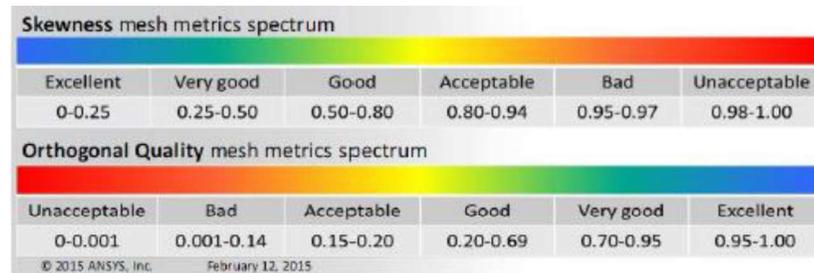


Gambar 3.6. Hasil Pembuatan *Mesh*

## 3. Kualitas *Mesh*

Kualitas *mesh* merupakan suatu hal yang penting karena mempengaruhi hasil dari perhitungan simulasi. Oleh karena itu dibutuhkan pemeriksaan *mesh* untuk memastikan bahwa *mesh*-nya sudah baik atau tidak. Untuk melihat rentang kualitas *mesh* dapat dilihat pada

Gambar 3.7. Kualitas *mesh* yang sudah dibuat dapat ditunjukkan pada Tabel 3.2



. Gambar 3.7. Rentang Kualitas *Mesh*

Tabel 3.2. Kualitas *Mesh* pada Simulasi Ini

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

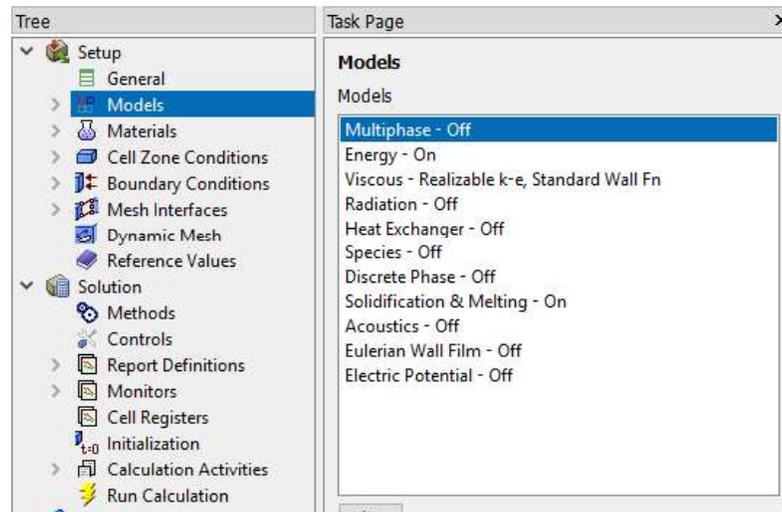
### 3.3.3.2. *Processing*

Pada tahap *processing* ini dilakukan *set-up ANSYS Fluent* 18.0 sesuai skenario eksperimen yang dilakukan. Secara umum konfigurasi *Fluent* meliputi :

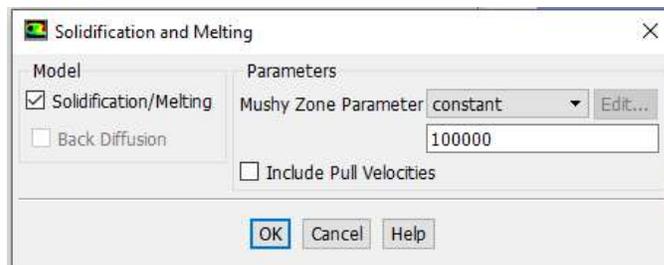
#### 1. Penentuan *Models*

Pada *ANSYS Fluent* 18.0 dapat melakukan simulasi model pembekuan dan pelelehan dengan cara mengaktifkan *solidification & melting*. Apabila *solidification & melting* sudah aktif, maka langkah selanjutnya menentukan nilai konstanta porositas seperti pada Gambar 3.9. Konstanta porositas pada *set-up default* besarnya adalah  $10^5$ . Pengaruh mengenai konstanta porositas pada hasil simulasi yaitu dapat meningkatkan gradien pelelehan.

Selain itu dikarenakan aliran fluida pada kasus ini diasumsikan turbulen, maka pada pengaturan model *viscous* dipilih model *k-epsilon*. Pada Gambar 3.8 ditunjukkan panel tampilan *models*.



Gambar 3.8. Panel Tampilan *Models*

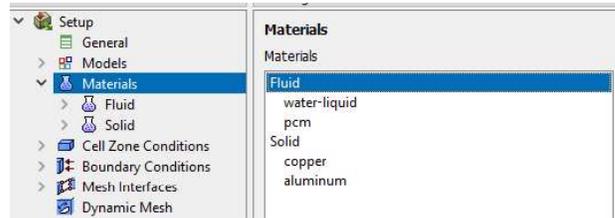


Gambar 3.9. Memasukkan Konstanta Porositas

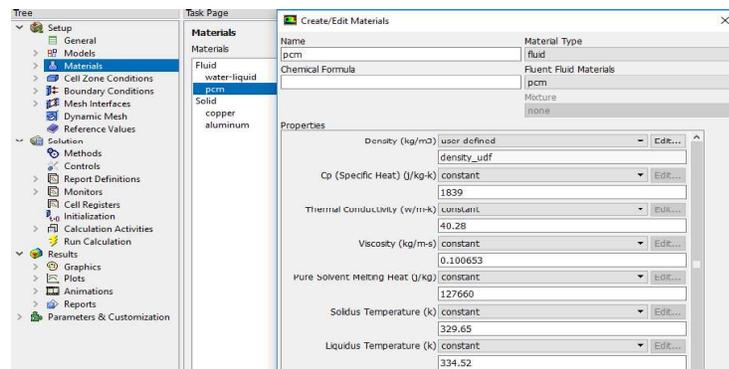
## 2. Parameter *Material*

Penelitian ini menggunakan material berupa tembaga sebagai pipa, air sebagai HTF, dan campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi massa 10% sebagai PCM. Pada material PCM perlu didefinisikan agar hasil perhitungan simulasi menjadi lebih akurat. Tampilan panel properti material di *Fluent* dapat dilihat pada Gambar 3.10. Jika terdapat material yang menggunakan UDF, maka fungsi UDF perlu diinterpretasikan terlebih dahulu. Di dalam penelitian ini fungsi densitas didefinisikan menggunakan UDF dengan persamaan 2.12.

Pembuatan UDF sendiri menggunakan *software ATOM* dengan bahasa pemrograman C.



Gambar 3.10. Panel Pemilihan Material



Gambar 3.11. Panel Input Parameter Material

Gambar 3.11 memperlihatkan tampilan panel untuk memasukan nilai parameter material. Untuk memasukkan parameter PCM perlu merujuk pada properti ditentukan. Pada Tabel 3.3 menjelaskan klasifikasi jenis zona pada *ANSYS Fluent 18.0*

Tabel 3.3. Klasifikasi jenis zona

Material	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 campuran PCM dan serbuk tembaga didapatkan dari hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan. Nilai properti yang didapatkan dari pengujian adalah sebagai berikut :

a. Densitas fase padat dan cair

Pengujian yang digunakan untuk mendapatkan nilai densitas fase padat pada campuran PCM dengan serbuk tembaga dilakukan dengan cara membuat spesimen yang volumenya sudah ditetapkan. Sedangkan pada fase cair dibutuhkan gelas ukur untuk mengetahui volumenya. Langkah selanjutnya, spesimen tersebut ditimbang untuk mengetahui nilai massanya. Setelah itu dilakukan perhitungan dengan persamaan 3.1.

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan :

$$\rho = \text{Densitas (kg/m}^3\text{)}$$

$$m = \text{Massa benda (kg)}$$

$$V = \text{Volume benda (m}^3\text{)}$$

Perhitungan densitas campuran PCM fase padat :

Diketahui :

$$m = 0,0031 \text{ kg} \quad V = 3,319 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Maka, persamaan 3.1. dapat digunakan untuk menghitung densitas campuran PCM fase padat yakni :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,0031 \text{ kg}}{3,319 \times 10^{-6} \text{ m}^3} \\ &= 934 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan densitas campuran PCM fase cair :

Diketahui :

$$m = 0,03 \text{ kg} \quad V = 3,643 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Maka, persamaan 3.1. dapat digunakan untuk menghitung densitas campuran PCM fase cair yakni :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,03 \text{ kg}}{3,643 \times 10^{-5} \text{ m}^3} \\ &= 823,5 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

b. Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan dengan cara, menjatuhkan bola ke dalam gelas ukur yang berisi campuran PCM dengan serbuk tembaga 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 3.2.

$$\mu = \frac{2(\rho_s - \rho_l)g \cdot r}{9v} \dots\dots\dots(3.2)$$

$\mu$  = Viskositas (Pa.s)

$\rho_s$  = Densitas bola (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_l$  = Densitas campuran PCM (g/m<sup>3</sup>)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$r$  = Jari-jari bola (m)

$v$  = Kecepatan bola (m/s)

Diketahui :

$$\rho_s = 7,46 \text{ g/cm}^3 \quad r = 0,004 \text{ m}$$

$$\rho_l = 0,8235 \text{ g/cm}^3 \quad v = 1,15 \text{ m/s}$$

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

Persamaan 3.2 dapat digunakan untuk menghitung nilai viskositas campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi massa 10% yakni :

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{2(7,46 \text{ g/cm}^3 - 0,8235 \text{ g/cm}^3)9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,004 \text{ m}}{9 \cdot 1,15 \text{ m/s}} \\ &= 0,1000653 \text{ Pa.S} \end{aligned}$$

c. Kalor lebur

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

d. Titik beku dan Titik leleh

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

Sementara untuk mengetahui nilai konduktivitas termal dan  $C_p$  dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 3.3. dan 3.4.

$$k = \%Pw \cdot k_{pw} + \%Cu \cdot k_{Cu} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$C_p = \%Pw \cdot C_{p_{pw}} + \%Cu \cdot C_{p_{Cu}} \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan :

$k$  = Konduktivitas termal (W/m.K)

$k_{pw}$  = Konduktivitas termal *paraffin wax* (W/m.K)

$k_{Cu}$  = Konduktivitas termal tembaga (W/m.K)

$\%Pw$  = Fraksi massa *paraffin wax*

$\%Cu$  = Fraksi massa serbuk tembaga

$C_p$  = Kalor jenis (J/kg.K)

$C_{p_{pw}}$  = Kalor jenis *paraffin wax* (J/kg.K)

$C_{p_{Cu}}$  = Kalor jenis tembaga (J/kg.K)

Diketahui :

$$k_{pw} = 0,2 \text{ W/m.K} \quad \%Cu = 90\%$$

$$k_{Cu} = 401 \text{ W/m.K} \quad \%Pw = 10 \%$$

$$C_{p_{pw}} = 2000 \text{ J/kg.K}$$

$$C_{p_{Cu}} = 390 \text{ J/kg.K}$$

Persamaan 3.3 dapat digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas termal campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi massa 10% yakni :

$$\begin{aligned} k &= 90\% \cdot 0,2 \text{ W/m.K} + 10\% \cdot 401 \text{ W/m.K} \\ &= 40,28 \text{ W/m.K} \end{aligned}$$

Persamaan 3.4 dapat digunakan untuk menghitung nilai kalor jenis campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi massa 10% yakni :

$$C_p = 90\% \cdot 2000 \text{ J/kg.K} + 10\% \cdot 390 \text{ J/kg.K}$$

$$= 1839 \text{ J/kg.K}$$

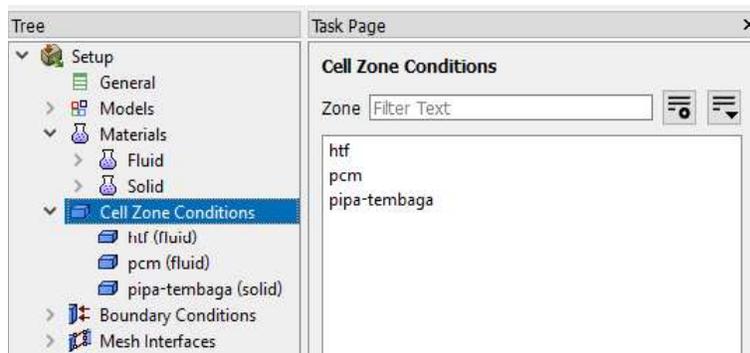
Nilai-nilai properti pada campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Nilai Properti Campuran PCM

Kriteria	Satuan	Nilai
Densitas fase padat (T = 28 °C)	kg/m <sup>3</sup>	934
Densitas fase cair (T = 68 °C)	kg/m <sup>3</sup>	823,5
Konduktivitas termal	W/m.K	40,28
Kalor lebur	J/kg	127.660
Viskositas	Pa.s	0,100653
Titik beku	°C	56,65
Titik leleh	°C	61,52
Kalor jenis	J/kg.K	1839

### 3. Penentuan *Zona Cell*

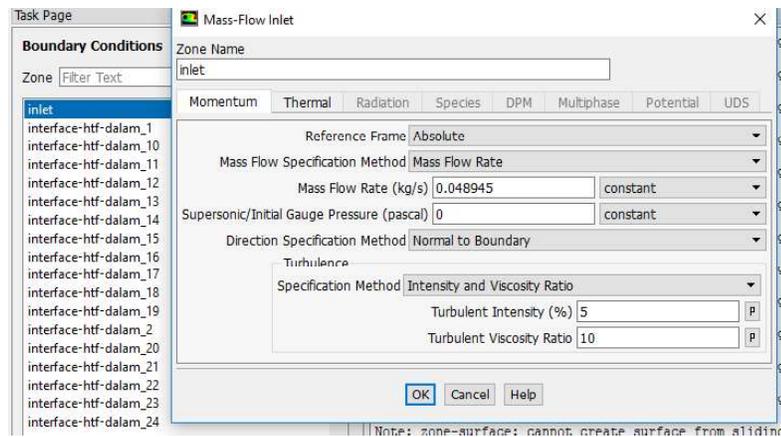
Pada tahap ini sekumpulan area mesh didefinisikan sebagai sebuah zona yang mewakili suatu daerah. Pada penelitian ini area mesh dibagi menjadi tiga zona yaitu, HTF, PCM, dan pipa tembaga. Panel tampilan *cell zone* dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Panel *Cell Zone*

#### 4. Penentuan *Boundary Conditions*

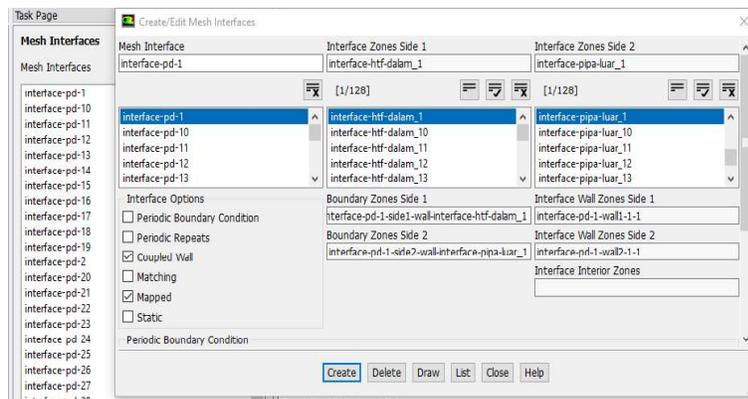
*Boundary conditions* berfungsi untuk menentukan kondisi batas pada tiap zona. Pada tahap ini berguna untuk menentukan debit air dan temperatur air pada *inlet*. Penggunaan *profile* dipakai untuk data temperatur *inlet* pada proses *charging* dan debit air pada proses *discharging* secara bertahap. Gambar 3.13 menunjukkan panel *boundary condition* pada *inlet*.



Gambar 3.13. Panel *Boundary Condition* pada *Inlet*

#### 5. Penentuan *Mesh Interface*

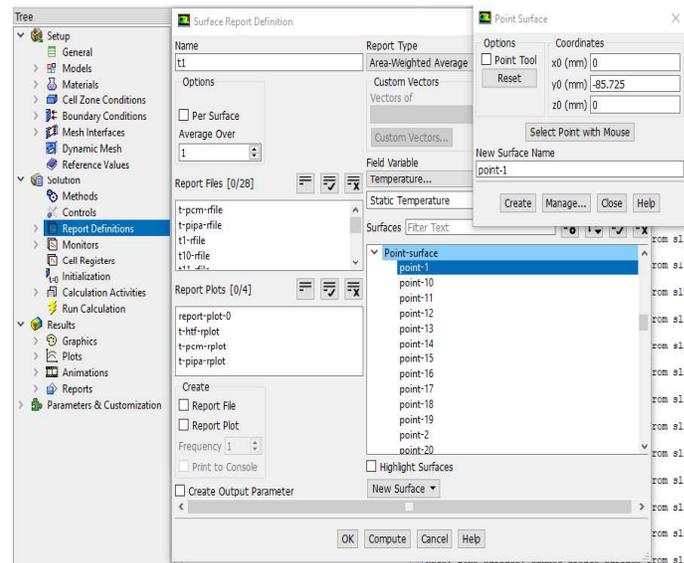
*Mesh interface* berfungsi sebagai penyambung antar *zone* dengan *zone* lainnya. Pada penelitian ini digunakan *interface coupled* dan *mapped* dikarenakan adanya gap antara *zone*. Panel *interface* dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Panel *Mesh Interface*

## 6. Pembuatan *Report*

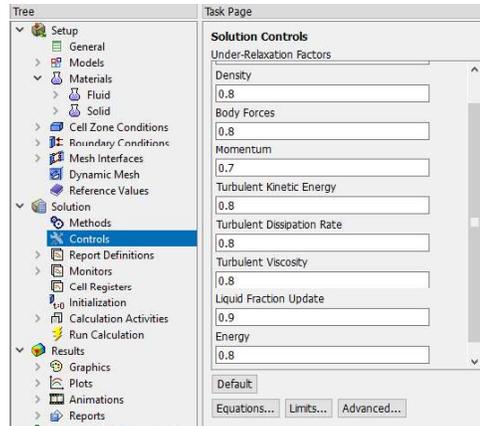
Pembuatan *report* dilakukan untuk menghasilkan data *output*. Langkah awal pembuatan *report* yaitu membuat *point* terlebih dahulu dengan koordinat yang telah ditentukan. Kemudian menentukan data output yang akan dihasilkan, seperti temperatur pada tiap *point*. Pada Gambar 3.15. menunjukkan panel tampilan *report*.



Gambar 3.15. Panel Tampilan *Report*

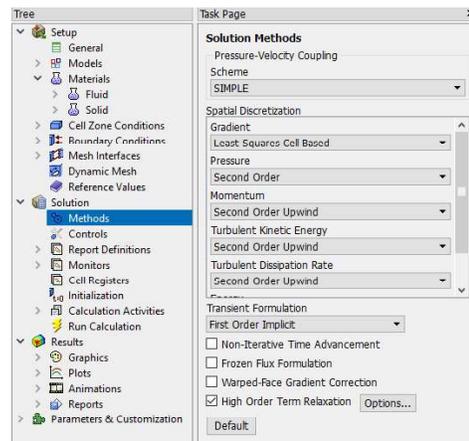
## 7. Penentuan Metode Perhitungan

Pada tahap ini pemilihan metode perhitungan dapat mempengaruhi proses simulasi yang dimana dapat berjalan dengan stabil dan menghasilkan perhitungan yang akurat. Metode perhitungan ini melingkupi dari penentuan nilai *Under Relaxation Factor (URF)*, *Solution Methods* dan *initialization*. Penentuan nilai URF, *Scheme Solution Methods* dan *Solution Initialization* dapat dilihat pada Gambar 3.16, Gambar 3.17 dan Gambar 3.18.

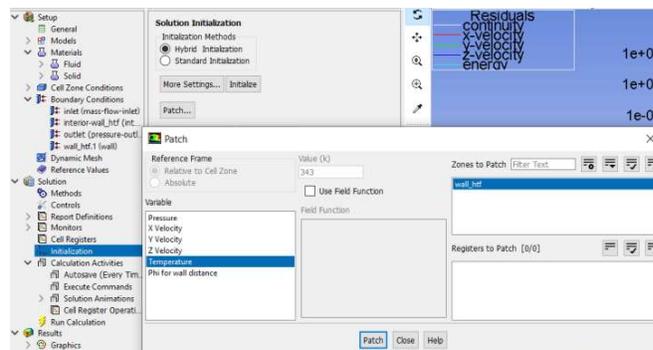


Gambar 3.16. Panel Tampilan URF

Pada penelitian ini nilai *density*, *body force* dan *energy* pada URF diubah dari 1 menjadi 0,8.

Gambar 3.17. Panel Tampilan *Solution Methods*

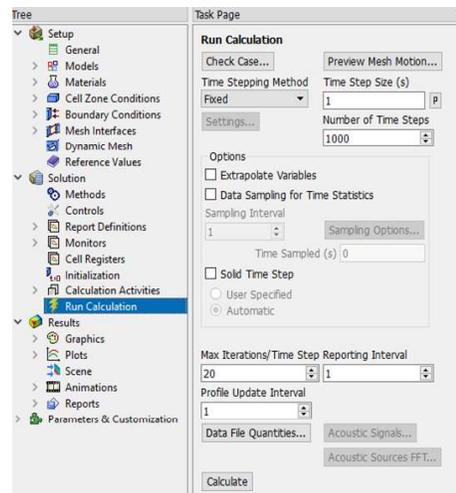
Dipilihnya *Scheme SIMPLE* pada simulasi ini dikarenakan pada proses perhitungannya lebih cepat dan cukup akurat daripada *Scheme* yang lainnya.

Gambar 3.18. Panel Tampilan *Solution Initialization*

Pada menu inialisasi dipilih metode *hybrid initialization* dikarena dapat memberikan perhitungan yang cepat pada suatu aliran dari metode yang ada. Pada saat kasus *discharging* nilai awal temperatur diatur 343 K.

## 8. Proses Perhitungan

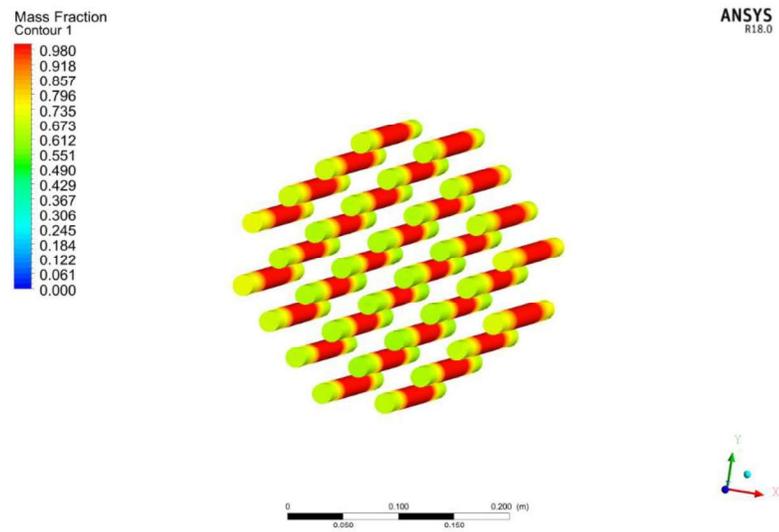
Pada penelitian menggunakan *time-solver* kondisi *transient*. Oleh karena itu jumlah *time step* mempengaruhi hasil dari simulasi. Gambar 3.19 merupakan penentuan *time step* berserta *Max iterations*.



Gambar 3.19. Panel Tampilan *Calculation*.

### 3.3.3.3. *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 temperatur *inlet*, sementara *variable* terikatnya yaitu evolusi temperatur, *contour* pelelehan dan pembekuan, dan waktu pelelehan dan pembekuan. Pada Gambar 3.20 merupakan hasil dari *contour* pelelehan.



Gambar 3.20. Hasil *Contour* Pelelehan pada PCM