

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat Penelitian

Penelitian ini memerlukan beberapa alat yang digunakan yaitu perangkat lunak (*software*), dan perangkat keras (*hardware*) sebagai alat penelitian.

- A. *Software* yang digunakan yaitu ANSYS Fluent 18.0 untuk simulasi numerik, Gambar 3.1 merupakan logo *software* ANSYS Fluent 18.0.



Gambar 3.1. Logo *Software* ANSYS Fluent 18.0

- B. *Hardware* yang digunakan peneliti dipersiapkan seperti menentukan komputer yang digunakan untuk simulasi berdasarkan spesifikasinya dan melakukan instalasi *software* ANSYS Fluent 18.0, tabel 3.1 spesifikasi rinci perangkat.

Tabel 3.1. Spesifikasi Perangkat Komputasi

No	Jenis Hardware	Perangkat Komputasi 1	Perangkat Komputasi 2
1	<i>Processor</i>	Intel Core i7-6700HQ 2.6 GHz	Intel i7-3770CPU 3.4 GHz
2	<i>Motherboard</i>	ASUS X550V	Simbadda Sim-X S-2636
3	<i>RAM</i>	<i>Corsair vengeance</i> DDR4 8 GB	<i>Visipro</i> DDR4 16 GB
4	<i>Graphic Card</i>	Nvidia GeForce GTX 950M	AMD <i>Radeon</i> HD 6570
5	<i>Storage</i>	HDD 1 TB	<i>Seagate</i> HDD 1 TB

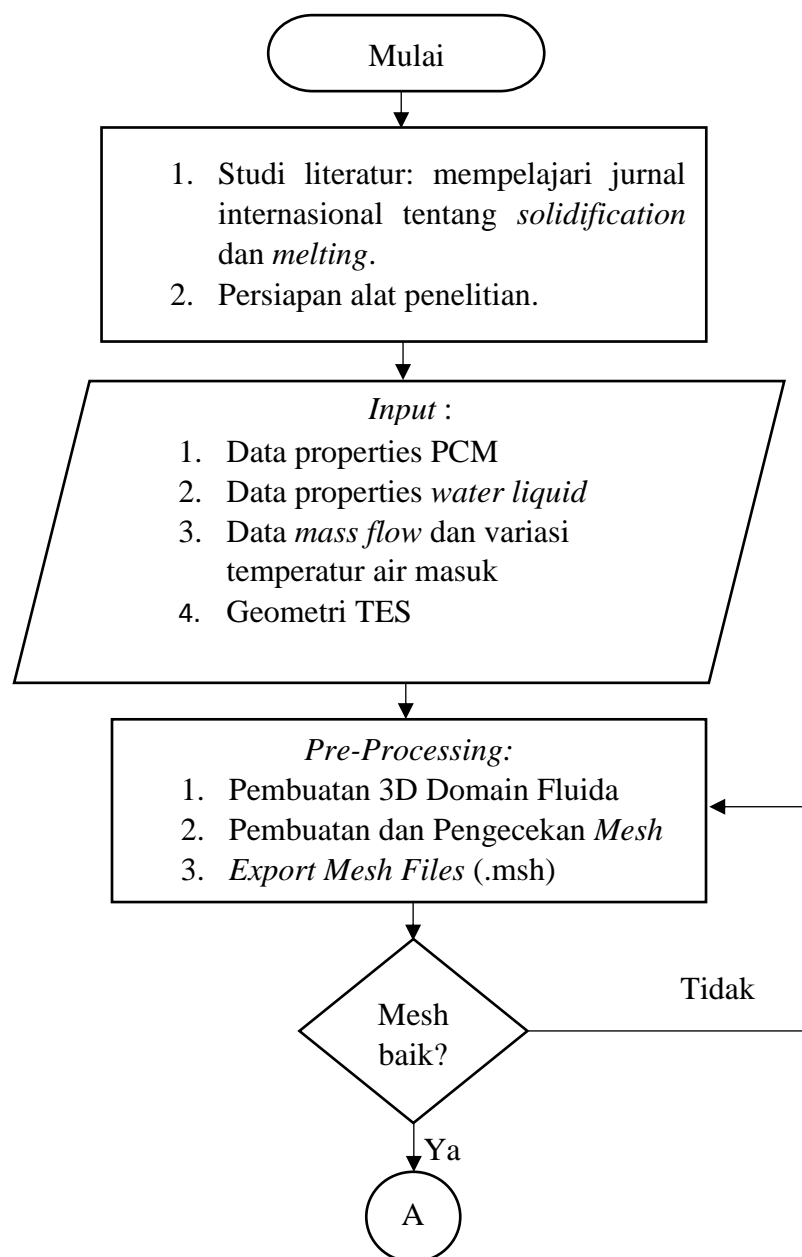
3.2. Prosedur Penelitian

3.2.1. Variasi Penelitian

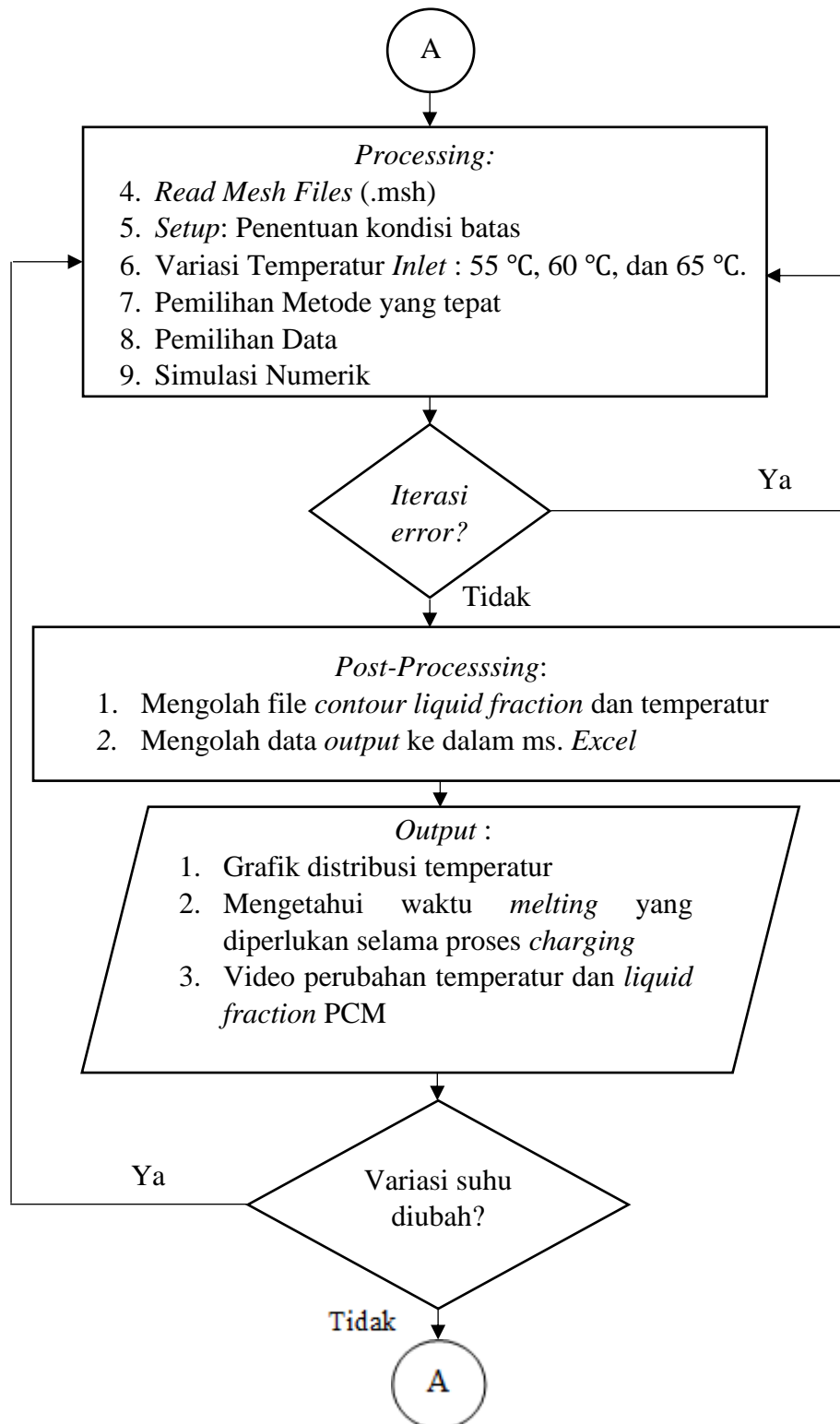
Variasi penelitian yang digunakan adalah variasi temperatur air masuk. Ada tiga variasi temperatur air masuk yaitu 55°C, 60°C, dan 65°C.

3.2.2. Diagram Alir Penelitian

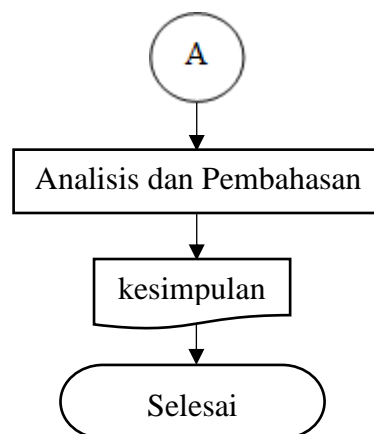
Kerangka besar diagram alir penelitian dapat dilihat pada diagram alir di Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.2.3. Langkah Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dengan cara mencari referensi teori dan jurnal yang relevan dengan kasus. Jurnal atau referensi teori yang telah diperoleh peneliti, selanjutnya melakukan proses simulasi CFD yang terbagi menjadi 3 proses yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

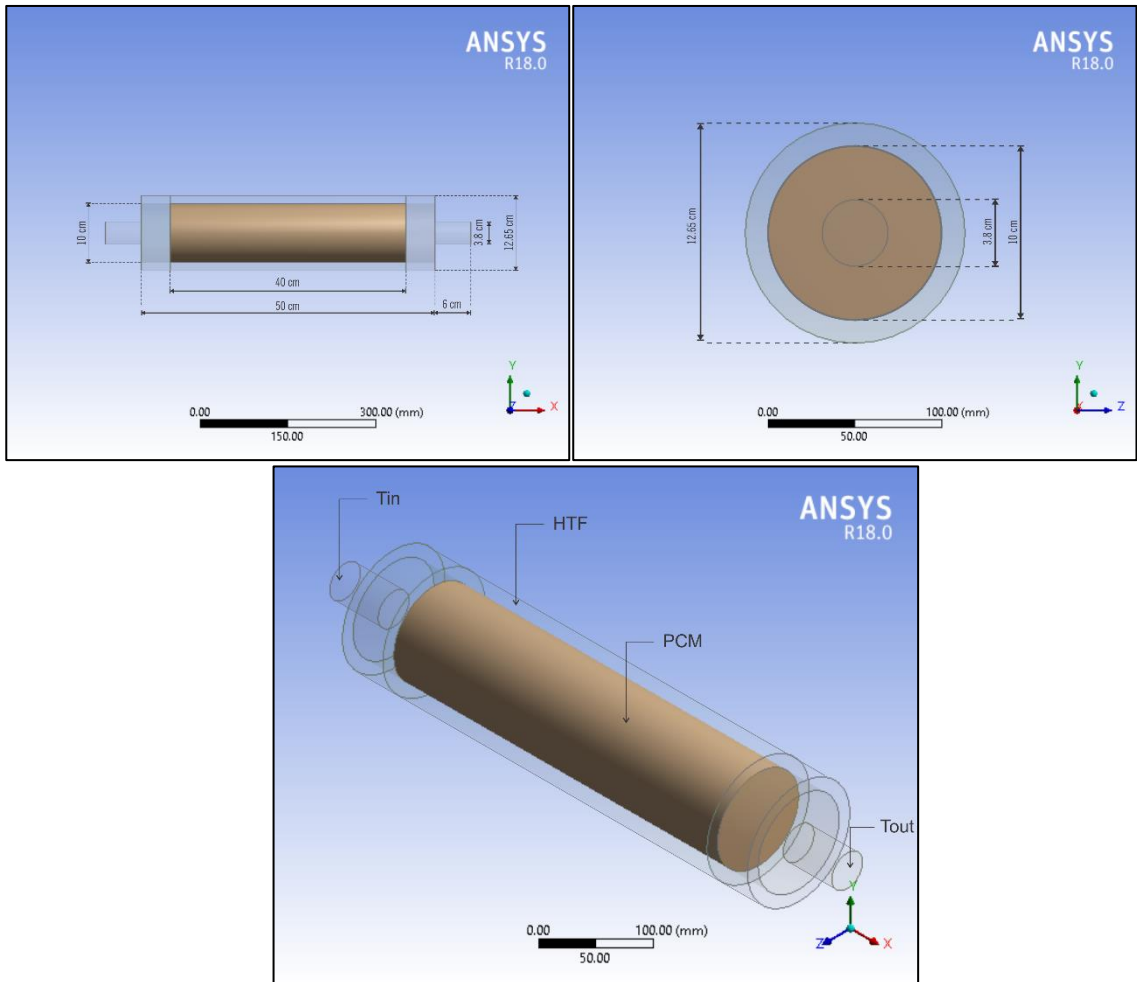
3.2.3.1. Pre-Processing

Pre-Processing merupakan tahap pertama yang dilakukan pada saat simulasi CFD. Berikut beberapa langkah yang dibuat dalam tahap pertama untuk simulasi:

a. Pembuatan Geometri atau Domain Fluida

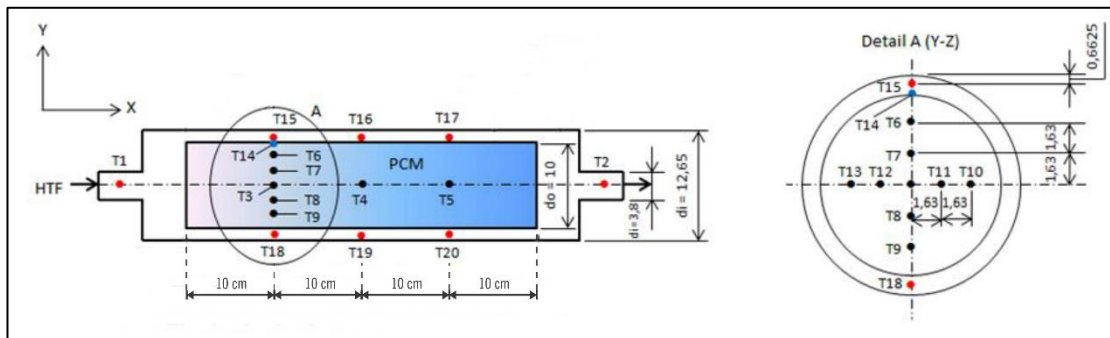
Bentuk geometri yang digunakan berbentuk anulus yang terdiri dari dua tabung. Tabung luar dan tabung dalam dipasang konsentrik. Tabung dalam berisi PCM berdiameter 10 cm dan panjang 40 cm. Tabung luar sebagai tempat mengalirnya HTF berdiameter 12,65 cm dan panjang 50 cm. Tabung PCM dan tabung luar berturut-turut memiliki ketebalan dinding 1,1 mm dan 3 mm. Desain geometri kasus awal dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran I. Domain Fluida adalah *volume control* yang menjadi wilayah pengamatan simulasi. Bentuk geometrinya tidak sama persis dengan bentuk geometri *real*-nya karena untuk memperoleh *mesh* yang baik sehingga diperlukan penyederhanaan. Pembuatan *design* domain fluida dibuat langsung dengan menggunakan *Design Modeler* yang

terdapat pada *software* ANSYS Fluent. Gambar 3.3 merupakan bentuk *design* domain fluida dari TES yang telah dibuat pada *software* ANSYS Fluent.



Gambar 3.3. Bentuk Geometri TES

Untuk mengetahui evolusi temperatur tentu diperlukan penempatan titik termokopel pada desain. Gambar 3.4 memperlihatkan letak titik termokopel pada desain simulasi.

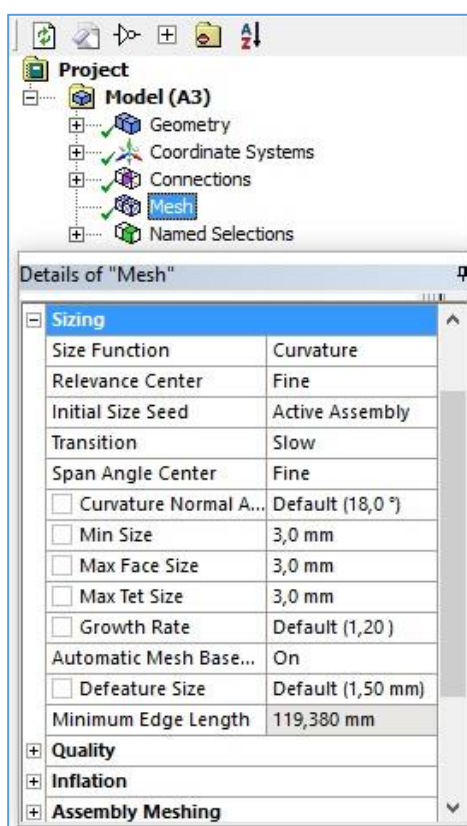


Gambar 3.4. Letak Titik Termokopel pada Geometri TES

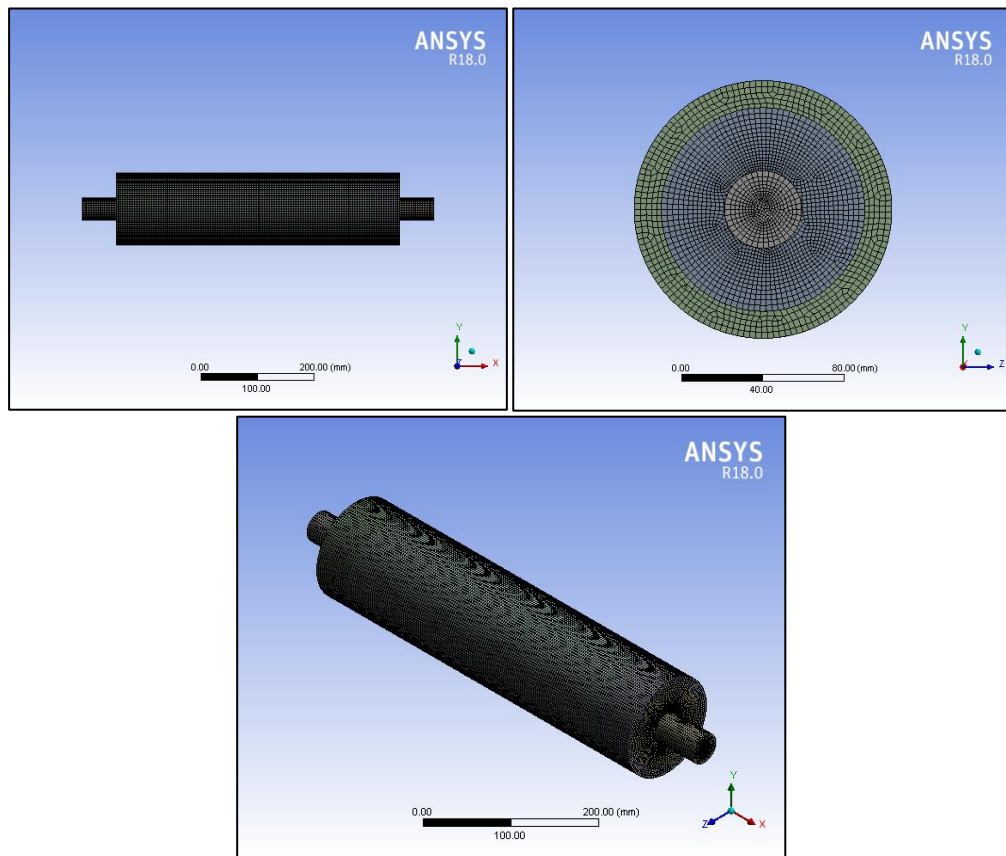
b. Pembuatan *Mesh*

Mesh berfungsi sebagai pembagi domain fluida menjadi *volume-volume* kecil yang dianalisis oleh komputer berdasarkan metode FVM. Pembuatan *mesh* dapat menggunakan perangkat lunak lain maupun yang terdapat pada ANSYS Fluent. *Mesh* pada penelitian ini langsung dibuat menggunakan program yang ada pada *software* ANSYS Fluent.

Langkah utama dalam proses *meshing* adalah melakukan *sizing mesh* yaitu dengan cara memilih dan menginput ukuran nilai yang diinginkan pada *mesh* agar kualitas *mesh* baik. Memilih *size function* menjadi *curvature* dan menggunakan transisi *slow* lalu memasukkan nilai minimal dan maksimal *size* sebesar 3 mm, berarti satu ukuran *mesh* dalam geometri seragam sebesar 3 mm, selanjutnya untuk kolom *smoothing quality* dinaikkan menjadi *high* seperti pada Gambar 3.5. Setelah melakukan proses *sizing mesh* diperoleh hasil dari pembuatan *meshing* seperti yang disajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5. Panel Penentuan *Sizing Mesh*



Gambar 3.6. Hasil Pembuatan *Mesh*

Hasil *meshing* dari domain fluida pada Gambar 3.6 harus diperhatikan kualitas *mesh*-nya untuk memastikan *mesh* tersebut sudah baik atau tidak. Kualitas *mesh* mempengaruhi hasil dari perhitungan simulasi sehingga pemeriksaan kualitas *mesh* haruslah dilakukan. Tabel 3.2 menyajikan rentang kualitas *mesh* yang disediakan ANSYS Fluent.

Tabel 3.2. Kualitas Mesh pada ANSYS Fluent

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00
© 2015 ANSYS, Inc. February 12, 2015					

Kualitas dari *mesh* yang telah dibuat dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3. Kualitas Mesh Pada *Console* Fluent

Console
<pre> Mesh Quality: Minimum Orthogonal Quality = 4.84423e-01 (To improve Orthogonal quality , use "Inverse Orthogonal Quality" in Fluent Meshing, where Inverse Orthogonal Quality = 1 - Orthogonal Quality) Maximum Aspect Ratio = 8.13614e+00 </pre>

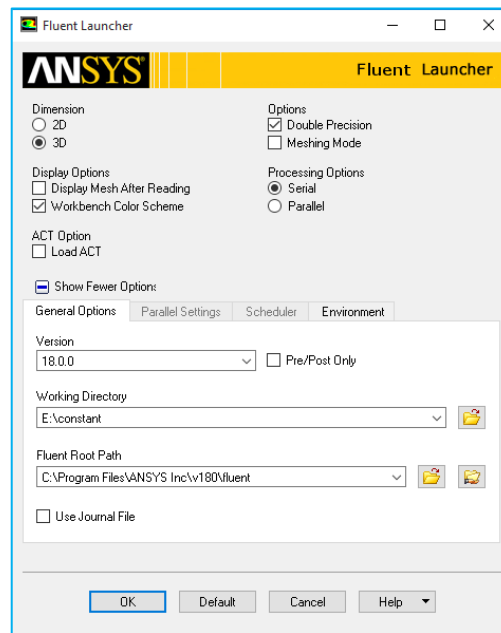
Tabel 3.3 menunjukkan bahwa nilai *minimum orthogonal quality mesh* 0,48 jika dilihat pada Tabel 3.2 ANSYS Fluent menandakan bahwa pada simulasi kualitas *mesh* dalam kualifikasi baik (*good*). Data *mesh* yang telah di *meshing* dan pengecekan selesai, kemudian di *export* ke dalam bentuk *Mesh files* (*.msh* *.MSH*).

3.2.3.2. Processing

Processing merupakan tahap kedua pada proses CFD. Tahap *processing* dilakukan konfigurasi fluent yaitu proses *set-up* pada ANSYS Fluent. Konfigurasi Fluent secara umum meliputi:

a. *Fluent Launcher* 18.0

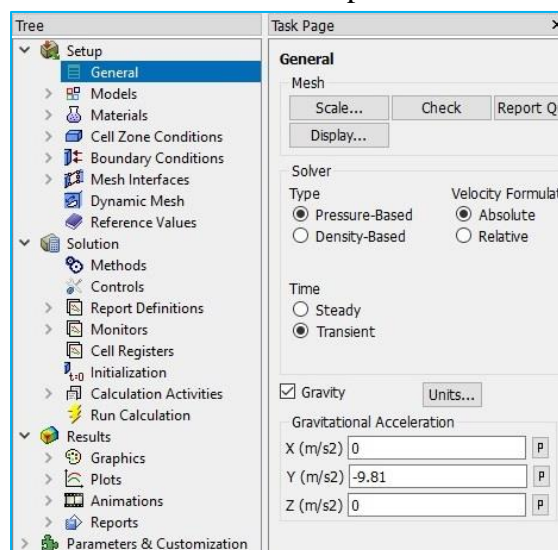
Fluent launcher yaitu skema awal penentuan simulasi. Simulasi yang dilakukan dalam bentuk 3D, untuk *options double precision*. Gambar 3.7 merupakan pemilihan skema dan tempat penyimpanan data pada *fluent launcher* 18.0. Setelah masuk pada Fluent selanjutnya *read mesh files* (.msh) yang telah disimpan sebelumnya, maka *mesh* akan terbuka pada *fluent*.



Gambar 3.7. *Fluent Launcher 18.0*

b. *General*

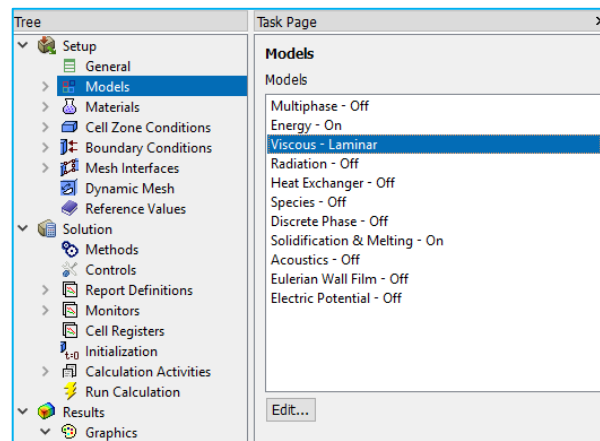
Gambar 3.8 menunjukkan penentuan *type solver* diperlukan untuk keberhasilan proses simulasi berdasarkan *tutorial guide*. Terdapat dua tipe *time solver* pada ANSYS Fluent yaitu *steady* dan *transient simulation*. Fenomena pelelehan dalam penelitian ini disimulasikan dengan *pressure-based* sebagai *type solver* serta yang terpenting yaitu penggunaan *time solver* pada kondisi *transient*. *Transient simulation* digunakan ketika seluruh *variable* pada simulasi tergantung oleh waktu.



Gambar 3.8. *Panel General*

c. *Models*

Perhitungan skenario eksperimen pelelehan serta pembekuan dapat dilakukan dengan Fluent. Konfigurasi untuk setiap skenario tersebut dapat dilihat pada buku panduan *user guide* ANSYS Fluent 18. Untuk menentukan skenario pelelehan pada Fluent dapat dilihat pada Gambar 3.9 dengan mengaktifkan *solidification* dan *melting* sehingga secara otomatis *energy* juga akan aktif.



Gambar 3.9. Panel Model Pelelehan

Gambar 3.9 penentuan *viscous models* berdasarkan perhitungan *Reynold number*, sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{kecepatan (v)} = 2 \text{ LPM} = \frac{Q}{\pi \cdot (r)^2} = \frac{2 \frac{L}{\text{menit}} \times 10^{-3} \frac{m^3}{L} \times 1 \text{ menit}}{\pi \times (0,019 \text{ m})^2 \times 60 \text{ s}} = 0,03 \frac{m}{s}$$

$$\text{Diameter (d)} = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$$

$$\text{Densitas } (\rho) = 999,1 \frac{kg}{m^3}$$

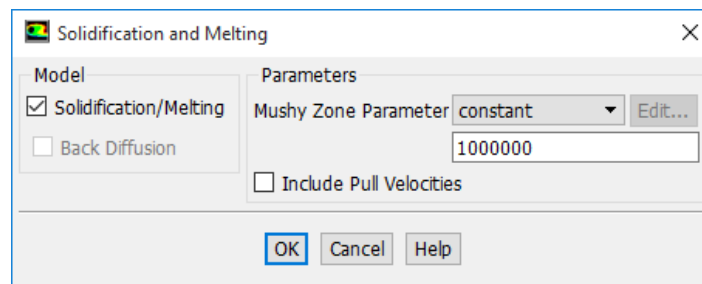
$$\text{Viskositas fluida } (\mu) = 1,003 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$$

Persamaan 2.7 dapat digunakan untuk menghitung nilai Re yakni:

$$Re = \frac{\rho \times v \times d}{\mu}$$

$$Re = \frac{999,1 \frac{kg}{m^3} \times 0,03 \frac{m}{s} \times 0,038 \text{ m}}{1,003 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} = 1135,567$$

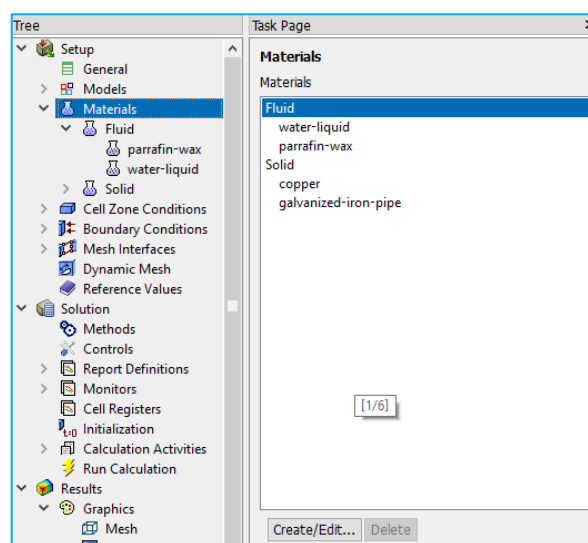
Jadi, didapatkan bahwa nilai $Re < 2300$ maka aliran yang tepat untuk digunakan pada penelitian ini yaitu aliran laminar. Apabila skenario pelelehan pada panel telah dilakukan, langkah selanjutnya yaitu *input* nilai konstanta *porosity* seperti Gambar 3.10. Penentuan konstanta porositas bisa merujuk pada jurnal (Hosseini dkk, 2014). Konstanta porositas pada *set-up default* besarnya adalah 10^5 . Pengaruh mengenai konstanta porositas pada hasil simulasi yaitu dapat meningkatkan gradien pelelehan.



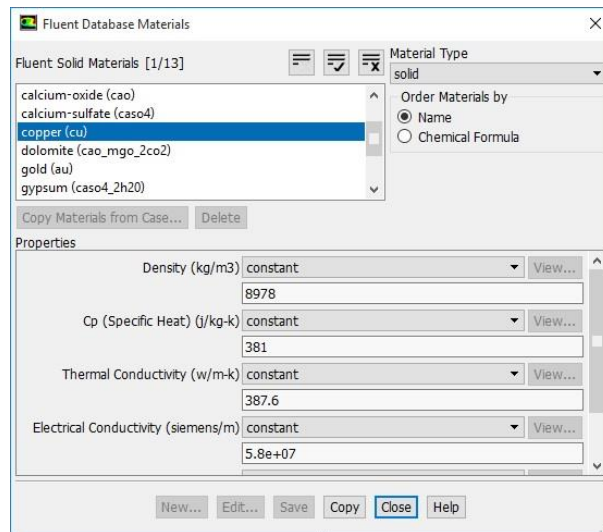
Gambar 3.10. Memasukkan Konstanta Porositas

d. Parameter Material

Paraffin wax RT52 sebagai PCM, air sebagai *Heat Transfer Fluid (HTF)* dan tabung PCM terbuat dari tembaga, merupakan material yang digunakan pada simulasi ini. Material tersebut harus didefinisikan propertinya pada ANSYS Fluent supaya hasil perhitungan simulasi menjadi akurat. Tampilan panel properti material di Fluent dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Panel Pembuatan Properti Material

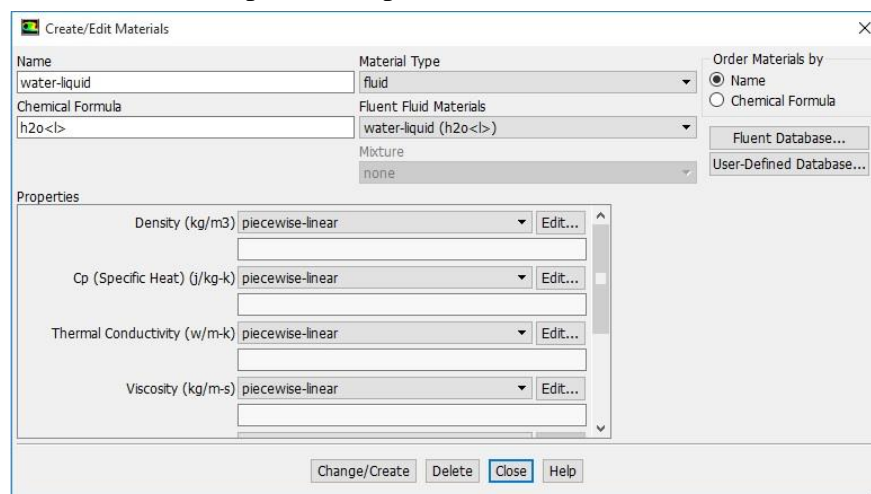


Gambar 3.12. Panel Input Parameter *Materials*

Gambar 3.12 memperlihatkan tampilan panel untuk memasukan nilai parameter material. Untuk memasukan parameter material perlu merujuk pada sifat termal yang tersedia di jurnal (Rosler dkk, 2011), (Hosseini dkk, 2014), dan (Fornarelli dkk, 2017). Namun untuk material HTF dan PCM perlu didefinisikan lebih lanjut, sebagai berikut:

1. *Heat Transfer Fluid* (HTF)

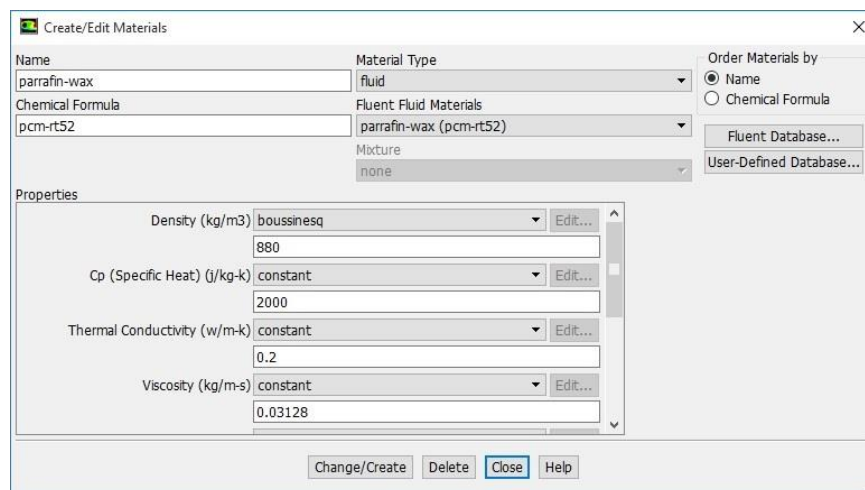
Water liquid sebagai material HTF, metode yang digunakan untuk pembuatan properti pada *water liquid* adalah *piecewise linear* dengan menggunakan data dari *table A-9 saturated water* dalam buku *Heat Transfer Appendix*, data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran II. Panel *input water liquid* material HTF dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Panel *Input Material Water Liquid*

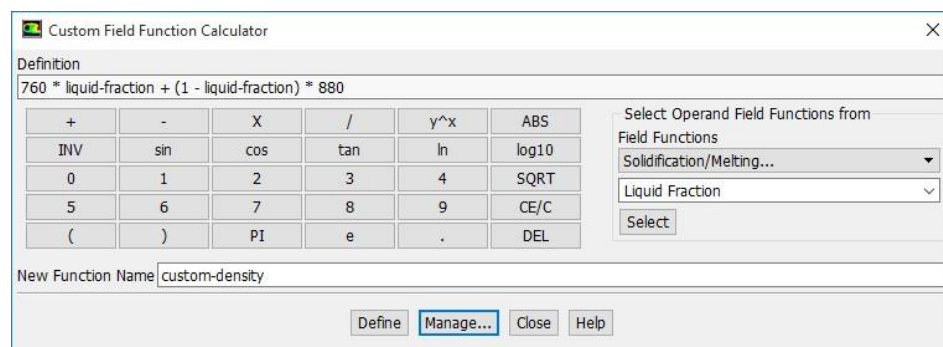
2. Phase Change Material (PCM)

PCM yang digunakan yakni *paraffin wax RT52*, untuk mendefinisikan sifat termal dari PCM penelitian ini menggunakan asumsi *boussinesq*. Persamaan 2.8 digunakan untuk mendefinisikan densitas PCM. Pendefinisian persamaan 2.8 dihitung dengan menggunakan Ms. *Excel*. Gambar 3.14 merupakan panel properti PCM yang telah didefinisikan sebelumnya.



Gambar 3.14. Panel Properti PCM

Gambar 3.15 merupakan panel pembuatan *Custom functions fields* yang digunakan untuk mendefinisikan kontur dari densitas PCM yang akan ditampilkan nantinya. Berikut persamaan yang digunakan menurut Rosler dkk (2011) dalam mendefinisikan densitas PCM dapat dilihat pada persamaan 2.10.

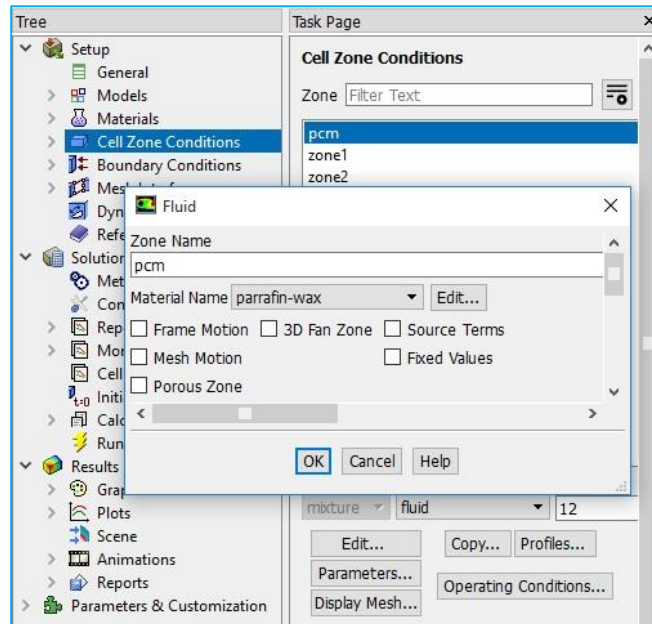


Gambar 3.15. Panel Pembuatan *Custom Functions Fields*

e. Penentuan *Cell Zone*

klasifikasi jenis zona pada ANSYS Fluent. Material yang digunakan dikategorikan sesuai dengan zona yang tersedia di ANSYS Fluent. Semisal PCM

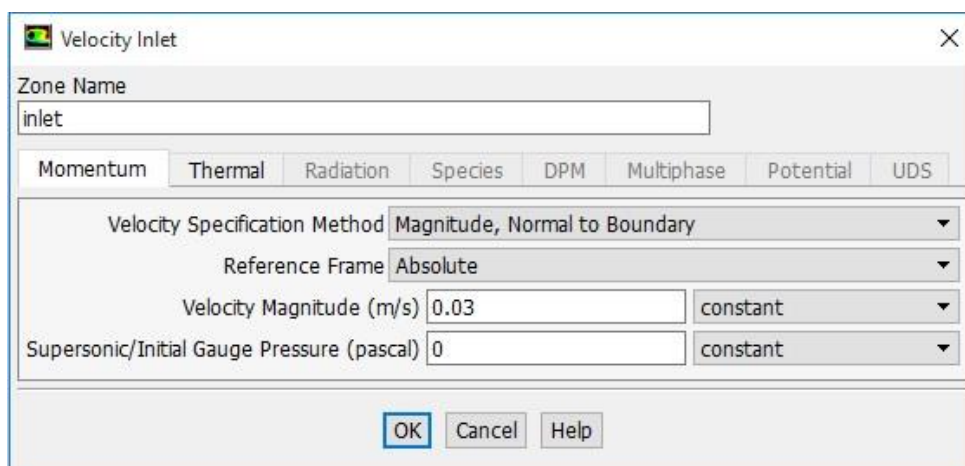
dikategorikan pada *fluid zone* walaupun pada fase awalnya adalah padat. HTF dikategorikan pada *fluid zone*. Penentuan *cell zone* dapat dilihat pada Gambar 3.16.



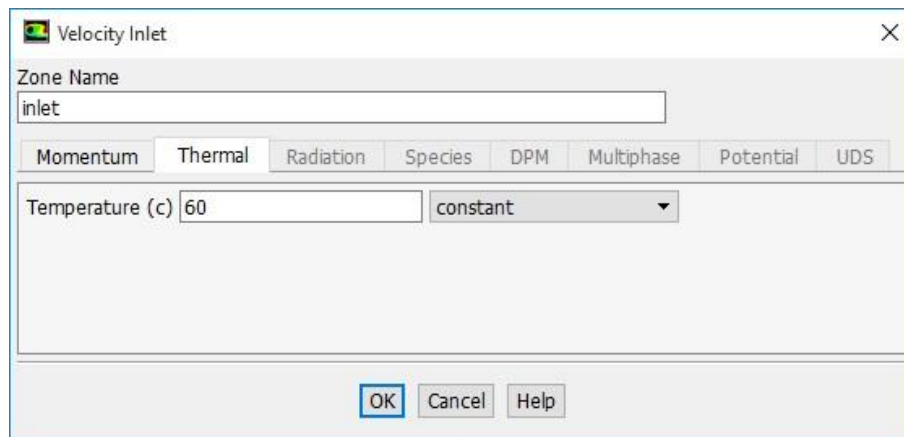
Gambar 3.16. Penentuan *Cell Zone*

f. *Boundary Conditions*

Penentuan kondisi batas berupa data yang dibutuhkan dalam simulasi dimasukkan pada tahap ini. Gambar 3.17 dan Gambar 3.18 berturut-turut merupakan kondisi batas yang digunakan yaitu laju aliran massa *inlet* HTF, serta variasi temperatur HTF *inlet*.



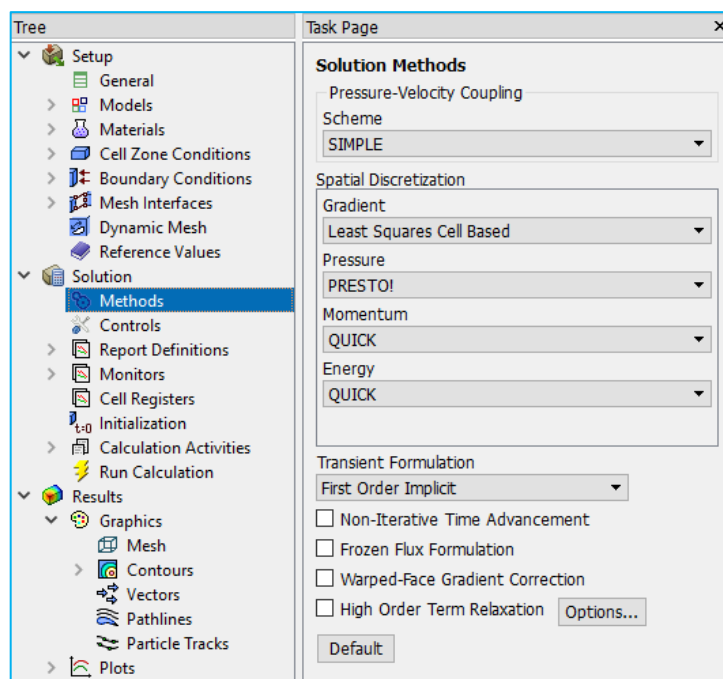
Gambar 3.17. Panel *Mass Flow Inlet*



Gambar 3.18. Panel Temperatur HTF *Inlet*

g. Penentuan Metode Perhitungan

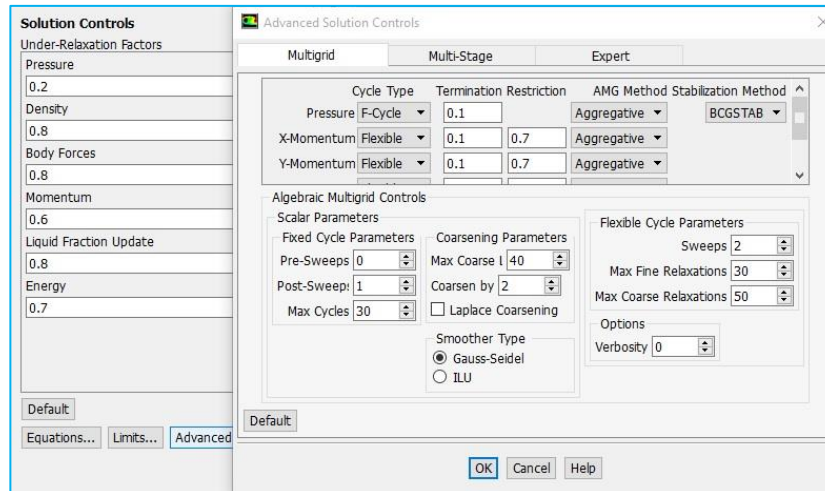
Pemilihan metode perhitungan akan menentukan apakah perhitungan pada simulasi berjalan dengan stabil serta menghasilkan perhitungan yang akurat. Pemilihan metode simulasi merujuk pada jurnal (Hosseini dkk, 2014). Gambar 3.19 merupakan penentuan metode perhitungan simulasi.



Gambar 3.19. Panel *Solution Methods*

Gambar 3.20 merupakan penentuan *solution controls* serta *advanced* perhitungan simulasi. Besar nilai dari penentuan *solution controls* akan mempengaruhi tingkat

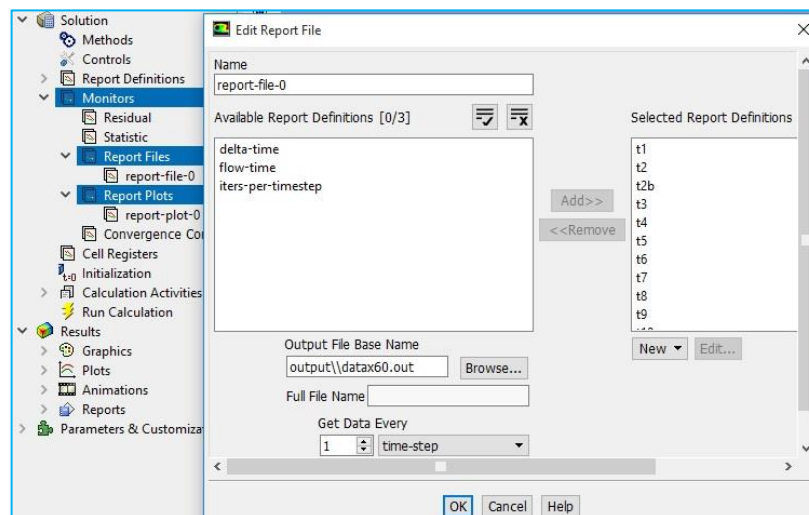
keakuratan hasil simulasi serta memudahkan perhitungan dalam persamaan aritmatik pada simulasi numerik.



Gambar 3.20. Panel *Solution Controls*

h. *Monitors*

Monitors salah satunya terdapat *report files* yang berfungsi untuk penentuan titik termokopel, dimana data yang akan disimpan adalah data evolusi temperatur pada *shell and tube* saat proses *charging* dan menampilkan *plot* dari grafik temperatur titik termokopel seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.21.

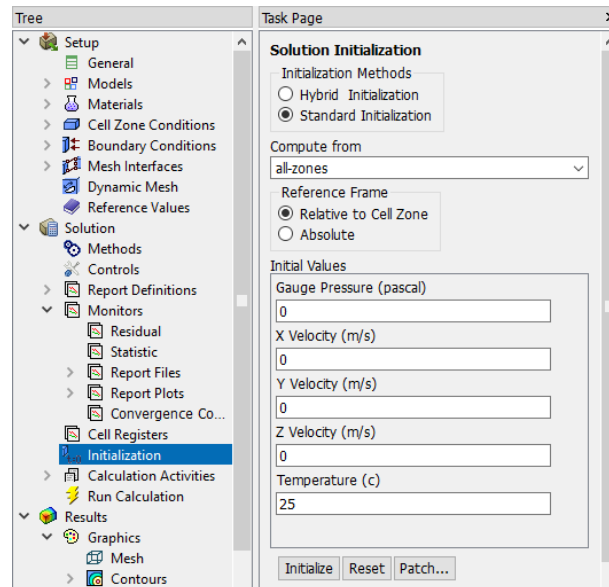


Gambar 3.21. Panel *Saving Data Temperatur Termokopel*

i. *Solution Initialization*

Proses yang bertujuan untuk mendapatkan nilai dari variabel aliran serta menginisialisasi medan aliran. Penelitian ini menggunakan *standart initialization*

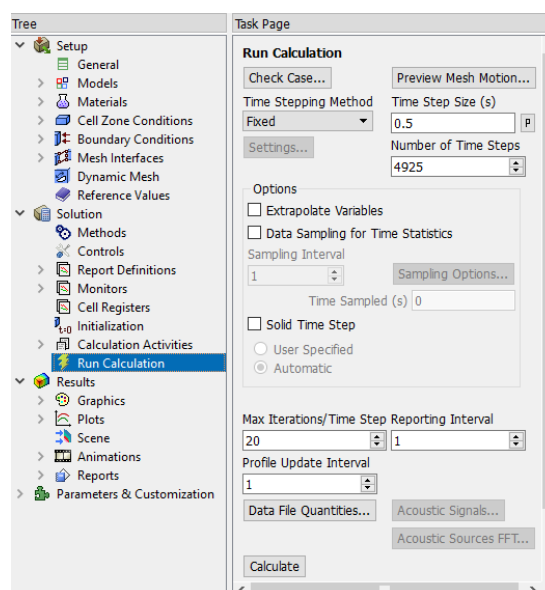
sebagai *initialization methods*, dengan *reference frame* menggunakan *all zone* seperti pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22. Panel *Solution Initialization*

j. *Run Calculation*

Penelitian ini menggunakan *time-solver* kondisi *transient*. Oleh karena itu, penentuan jumlah *time step* akan mempengaruhi kesuksesan dari simulasi numerik. Gambar 3.23 merupakan penentuan *time step* beserta *Number of Iterations* serta *Max Iterations/Time Step*.



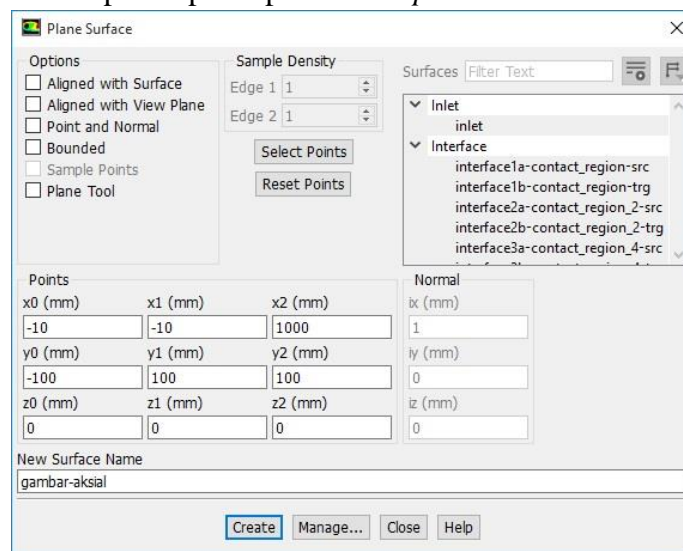
Gambar 3.23. Panel Penentuan *Calculation*

3.2.3.3. Post-Processing

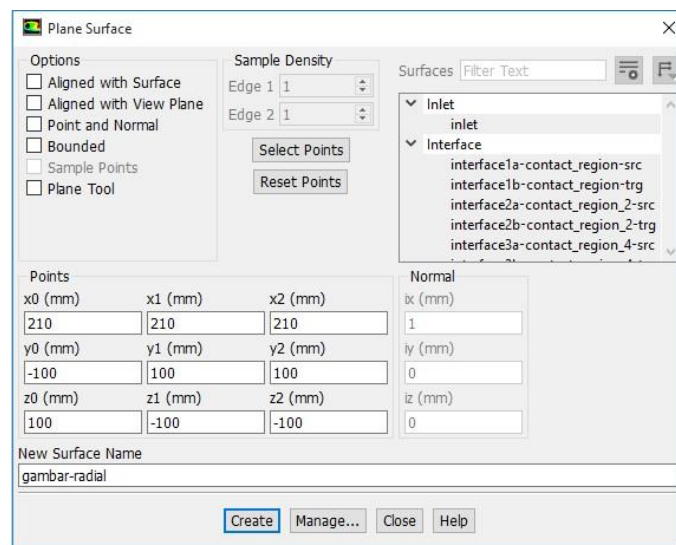
Post-Processing merupakan proses menampilkan hasil dari perhitungan simulasi sesuai kasus yang diteliti. Penelitian ini untuk *variable* bebas yang dipakai yaitu temperatur HTF *inlet*, sedangkan *variable* terikatnya yaitu evolusi temperatur, *contour* pelelehan dan waktu pelelehan. Untuk menampilkan data variabel terikat maka dibuat *plane*, kontur, dan *saving solution animations*.

1. Plane

Dengan *plane* ditentukan area evolusi *temperature*, *liquid fraction*, serta densitas PCM baik arah aksial maupun arah radial. Gambar 3.24 dan 3.25 berturut-turut merupakan panel pembuatan *plane* arah aksial dan arah radial.



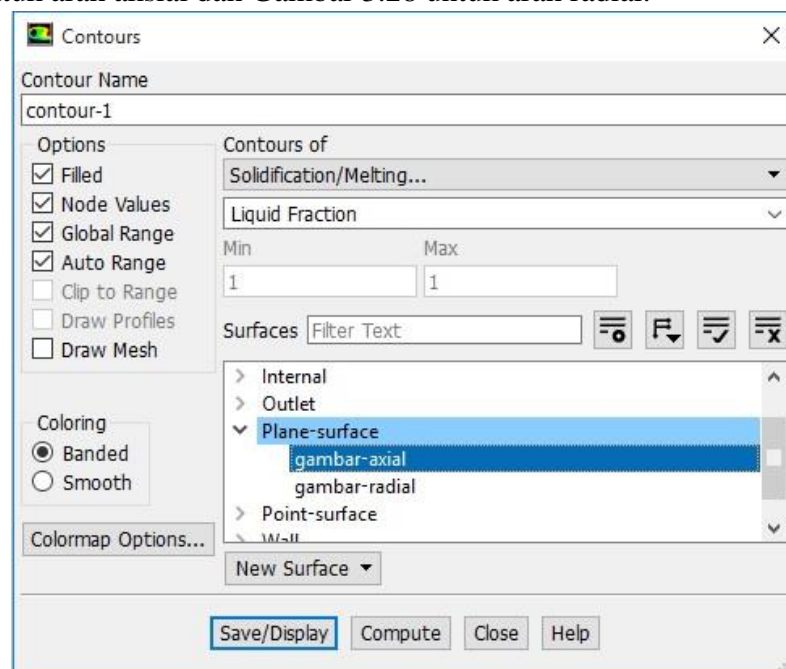
Gambar 3.24. Panel Pembuatan *Plane* Arah Aksial



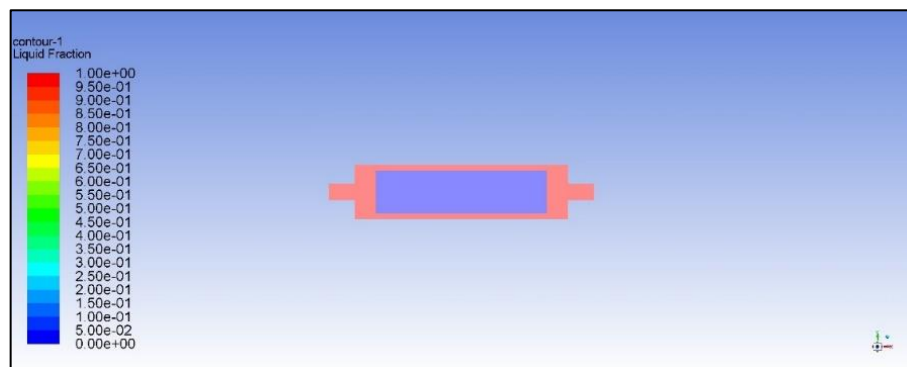
Gambar 3.25. Panel Pembuatan *Plane* Arah Radial

2. Contour and Legend

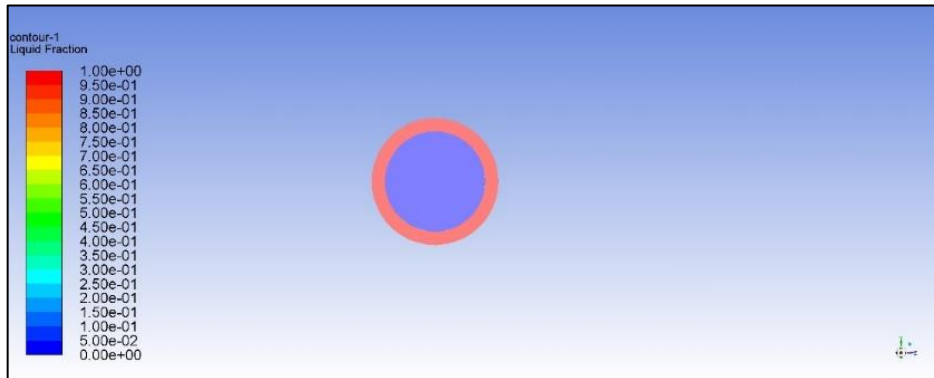
Contour akan memudahkan untuk pembacaan lebih detail pada pola hasil simulasi berdasarkan variabel yang dikehendaki di setiap *plane* yang telah ditentukan sebelumnya, sedangkan *Legend* digunakan untuk menentukan dimensi dari pola warna yang dihasilkan simulasi pada *contour*. Gambar 3.26 merupakan panel pembuatan *contour*, sehingga hasil kontur untuk membaca pola berdasarkan variabel terkait dideskripsikan dengan warna seperti Gambar 3.27 untuk arah aksial dan Gambar 3.28 untuk arah radial.



Gambar 3.26. Panel Pembuatan *Contour*



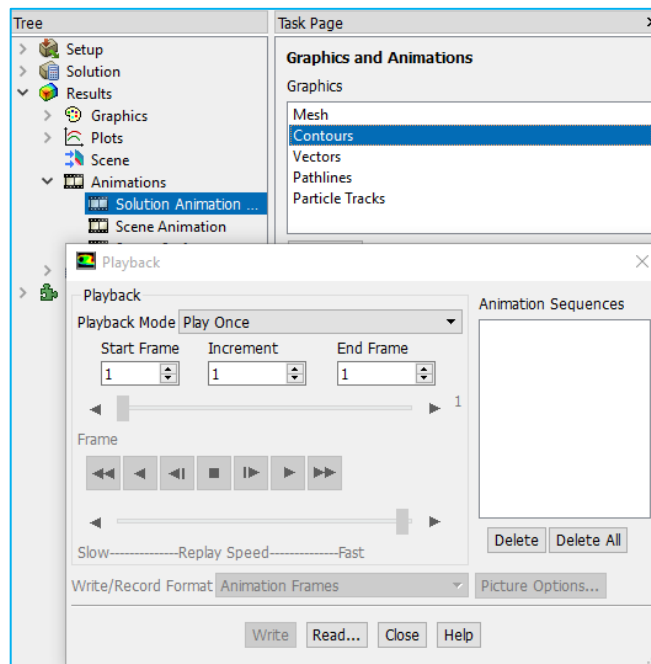
Gambar 3.27. Hasil *Contour* Arah Aksial



Gambar 3.28. Hasil *Contour* Arah Radial

3. *Solution Animations*

Solution Animations digunakan untuk menyimpan hasil dari simulasi berupa *frame-frame animations* yang nantinya dapat diputar untuk melihat evolusi temperatur, *liquid fraction*, dan *density*. Gambar 3.29 merupakan panel *Solution Animations*.



Gambar 3.29. Panel *Solution Animations*