## **BAB III**

## **METODE PENELITIAN**

### 3.1. Alat Penelitian

Topik dalam penelitian ini adalah menyelidiki kombinasi dua kategori penyimpanan panas yaitu *paraffin wax* (LHS) diintegrasikan dengan air biasa (SHS) yang berperan sebagai HTF untuk kasus yang akan disimulasikan menggunakan ANSYS Fluent pada proses *discharging* dengan mengamati evolusi temperatur pada setiap titik termokopel seperti pada Gambar 3.1. Jenis *paraffin wax yang dipakai adalah RT52* dengan properties disajikan dalam Tabel 3.1.



Gambar 3.1 Sketsa Penempatan Pisisi Termokopel Tabel 3.1 Sifat termal *paraffin wax* RT52

Kriteria	Satuan	Nilai
Rentang pembekuan (solidification)	°C	48-52
Kapasitas penyimpanan panas	kJ/kg	173
*1=44 C-59 C		
*T=15°C	kg/m <sup>3</sup>	880
Massa jenis fase cair *T=80°C	kg/m <sup>3</sup>	760
Volume ekspansi *pada rentang pelelehan	%	16
Konduktivitas termal	W/(mK)	0,2
Viskositas kinematik	M <sup>2</sup> /s	31,28 x10 <sup>-6</sup>

Penelitian ini membutuhkan beberapa alat penunjang proses simulasi seperti menentukan komputer yang akan digunakan untuk simulasi *software ANSYS Fluent*. Berdasarkan spesifikasi komputer yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Spesifikasi Perangkat Komputer

No.	Jenis hardware	Perangkat komputer
1	processor	Intel Core i7-3770 3.4Ghz
2	Motherboard	Asus
3	RAM	16 GB DDR 4
4	Graphic Card	AMD Radeon HD 6570
5	Storage	SSD 256GB + HDD 0.5 TB
6	Cooling System	Standard

Karena membutuhkan kapasitas penyimpanan yang cukup besar maka ditambah sebuah alat penyimpanan *Hardisk external* WD Elements 1TB.

# **3.2. Prosedur Penelitian**

## 3.2.1. Diagram Alir Penelitian

Kerangka umum jalannya penelitian ditunjukan oleh diagram alir penelitian pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian Simulasi ANSYS Fluent.



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian Simulasi ANSYS Fluent. (Lanjutan)



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian Simulasi ANSYS Fluent. (Lanjutan)

## 3.2.2 Langkah Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur pada suatu kasus. Studi literatur dilakukan untuk melihat *roadmap* dan perkembangan yang belum dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Setelah mendapatkan *roadmap*, langkah selanjutnya adalah proses simulasi CFD. Pada dasarnya proses CFD dibagi menjadi 3 yaitu, *Pre-Processing, Processing,* dan *Post-Processing*.

# 3.2.2.1 Pre-Processing

*Pre-Processing* adalah tahap awal yang perlu dilakukan sebelum memulai simulasi. Pada tahapan ini terdiri dari pembuatan *geometry, meshing,* pengecekan kualitas mesh dan mendefinisikan bidang batas pada *geometry.* 

a. *Geometry* 

Dalam proses ini bertujuan untuk membuat bentuk *geometry* dari kasus yang akan diteliti. Aplikasi yang dapat digunakan dalam pembuatan *geometry* antara lain *Modeler Geometry*, Inventor, Solidwork, AutoCad dan lain sebagainya dengan cara di *import* ke *software* Ansys Fluent dengan format IGS. Pada penelitian ini menggunakan *software Modeler Geometry* bawaan dari ANSYS Fluent karena bentuk dari kasus yang akan di simulasi tidak terlalu rumit, dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Bentuk Geometry



Gambar 3.6. Bentuk Geometry tampilan Isometric

Setelah *geometry* selesai dibuat lalu diberi penamaan pada setiap *zone* karena hal ini akan memudahkan penggolongan material yang akan digunakan, dapat dilihat pada Gambar 3.7.

+	
🗄 🗸 👘 8 Parts, 8 Bodies	
🗸 🎲 zone1	
🛶 😭 zone2	
🚽 🍘 zone3	
PCM	
🚽 😭 zone4	
🚽 🍘 zone6	
🖓 zone7	

Gambar 3.7. Penggolongan material

b. Mesh

Setelah bentuk *geometri* selesai dibuat proses selanjutnya adalah *meshing* (membagi volume menjadi kecil-kecil) agar dapat dianalisis oleh komputer sesuai dengan metode *Finite Volume Method* (FVM). Ukuran *mesh* pada setiap obyek dapat mempengaruhi ketelitian dan akurasi hasil. Semakin kecil *mesh* maka hasil yang didapatkan akan semakin baik tetapi jumlah *mesh* akan semakin banyak sehingga membutuhkan proses komputasi yang lebih lama.

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 seperti pada Gambar 3.8. Memilih size funtion menjadi curvature dan menggunakan transisi slow lalu memasukkan nilai minimal dan maksimal size sebesar 3mm, berarti satu ukuran mesh dalam geometri seragam sebesar 3mm, selanjutnya untuk kolom smooting quality dinaikkan menjadi high supaya mesh lebih halus. Setelah dirasa cukup dicoba untuk generate terlebih dahulu untuk melihat jumlah nodes dan element pada bagian statistik seperti terlihat pada Gambar 3.10. Jika kualitas mesh masih dirasa kurang baik maka dapat diatur kembali pada sizing atau diganti dengan model yang lain pada method mesh, akan tetapi jika dilihat dari statistik mesh sudah dirasa cukup maka dapat di update terlebih dahulu untuk dapat melihat kualitas mesh pada proses selanjutnya yaitu set up. Nilai kualitas meshing dapat dilihat pada Gambar 3.12.

	Size Function	Curvature			
1	Relevance Center	Fine			
1	Initial Size Seed	Active Assembly			
	Transition	Slow			
	Span Angle Center	Fine			
	Curvature Normal A	Default (18,0 °)			
j	Min Size	3,0 mm			
1	Max Face Size	3,0 mm			
	Max Tet Size	3,0 mm			
1	Growth Rate	Default (1,20)			
1	Automatic Mesh Base	On			
1	Defeature Size	Default (1,50 mm)			
	Minimum Edge Length	119,380 mm			
3	Quality				
1	Check Mesh Quality	Yes, Errors			
1	Target Skewness	Default (0.900000)			
	Smoothing	High			
	Mesh Metric	None			
3	Inflation				

Gambar 3.8. Sizing mesh



Gambar 3.9. Bentuk *mesh* tampilan tampak depan (x,y) dan samping (y,z)

+ Adva	inced		
- Statis	stics		
N	odes	467425	
EI	ements	430718	

Gambar 3.10. Statistik mesh dengan jumlah element sebanyak 430.718.

Setelah itu pemberian nama pada setiap bagian *mesh* seperti *inlet*, *outlet*, *interface* dan dinding (*wall*) seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Pemberian nama pada setiap bagian

#### 3.2.2.2 Processing

Tahap kedua yaitu *processing* yang dilakukan kaitanya dengan pemilihan kondisi batas dalam simulasi CFD. Proses ini merupakan bagian terpenting karena semua parameter penelitian suatu kasus diproses pada tahapan ini, seperti *report mesh, general, models, material, cellzone conditions, boundary conditions, mesh interface, dynamic mesh, references values, solution methods, solution controls, solution initialization, calculated activiities, run calculation.* 

a. Report mesh

Kualitas *mesh* merupakan bagian terpenting dari simulasi maka untuk memastikan mesh yang dibuat tersebut sudah baik atau tidak dapat dilihat pada *report mesh*. Jika hasil *mesh* masih dalam kategori tidak baik maka perlu dilakukan proses *meshing* kembali.

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)
```

### Gambar 3.12. Kualitas Meshing

Dari hasil simulasi pada penelitian ini didapatkan *Minimum Orthoghonal Quality* sebesar 0.48 dengan membandingkan hasil *mesh* pada simulasi dengan kategori kualitas *mesh* pada Gambar 3.13. maka hal ini mengindikasikan bahwa kualitas *mesh* pada simulasi sudah baik.

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					

Gambar 3.13. Kategori kualitas mesh (ANSYS Fluent, 2015)

b. General

Dalam tahap ini solver yang digunakan tipe *pressure-based* karena kecepatan aliran rendah dan tipe ini memiliki regim aliran yang lebih luas. Kemudian aliran pada penelitian ini bersifat *transient* karena dipengaruhi oleh interval waktu. Serta faktor gravitasi juga aktif pada tampilan koordinat (–y) seperti pada Gambar 3.14.

Scale	Check	Report Quality
Display		
Solver		
уре	Velo	city Formulation
Pressure-Base	sed 💿	Absolute
O Densicy-base	eu O	Relative
Time 🔿 Steady		
Fime ○ Steady ● Transient ] Gravity	Units	]
Fime ○ Steady ● Transient ] Gravity Gravitational Ac	Units	]
Fime Steady Transient Gravity Gravitational Ac (m/s2) 0	Units celeration	] P
Time Steady Transient Gravity Gravitational Ac (m/s2) -9.81	Units celeration	P P

Gambar 3.14. Menu General

# c. Models

Tahap ini adalah untuk menentukan skenario simulasi kasus yang akan digunakan yaitu *solidification/melting* Gambar 3.15, dengan menggunakan model viskositas *laminar* sesuai dengan persamaan 3.1 dan karena adanya perpindahan panas maka *energy* akan aktif.

Diketahui:

- $\blacktriangleright$  Kecepatan (v) = 0.03 m/s
- ➢ Diameter (D) = 38 mm ~ 0,038 m
- $\blacktriangleright$  Densitas ( $\rho$ ) = 998  $\frac{kg}{m^3}$
- $\blacktriangleright$  Viskositas ( $\mu$ ) = 1,003 <sup>N.s</sup>/<sub>m<sup>3</sup></sub>

$$\operatorname{Re} = \frac{998^{kg}}{m^3} \times 0.03^{m} \times 0.038 m}{1.003 \times 10^{-3}} = 1134,31$$

\*Aliran *laminar* mempunyai bilangan Reynold kurang dari 2000.

Models Models		
Multiphase - Off Energy - On Viscous - Laminar Badiation - Off	Solidification and Mel	ting ×
Heat Exchanger - Off Species - Off Discrete Phase - Off	Model Solidification/Melting Back Diffusion	Parameters Mushy Zone Parameter constant   Edit L00000
Solidification & Melting - On Acoustics - Off Eulerian Wall Film - Off Electric Potential - Off		OK Cancel Help
Edit		

Gambar 3.15. Menu model dengan pemilihan Solidification/Melting

d. Materials

Material yang digunakan adalah *Paraffin Wax RT52* (sebagai PCM), kapsul tembaga, *Water-liquid* (HTF) dan *Galvanised Iron Primer* (GIP). Tampiran menu material dapat dilihat pada Gambar 3.16.

Materials
Materials
Fluid
water-liquid
paraffin
Solid
copper
gaivaniseu
Create/Edit Delete

Gambar 3.16 Menu Materials

Name		Material Type		
paraffin-wax		fluid		
hemical Formula		Fluent Fluid Materials		
wax-rt52		paraffin-wax (wax-rt52)		
N 1708		Mixture		
		none		
roperties				
Density (kg/m3)	boussinesq		▼ Edit	^
	880			
Cp (Specific Heat) (j/kg-k)	constant		✓ Edit	144
	2000	2000		
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant		▼ Edit	
	0.2			
Viscosity (kg/m-s)	constant		✓ Edit	
	0.03128			
Thermal Expansion Coefficient (1/k)	constant		✓ Edit	
	0.001			
Pure Solvent Melting Heat (j/kg)	constant		✓ Edit	
	143000			
Solidus Temperature (k)	constant		▼ Edit	
	48			
Liquidus Temperature (k)	constant		✓ Edit	
	52			

Gambar 3.17. Menu input parameter material

Gambar 3.17. merupakan menu untuk memasukan parameter material. Untuk *input* data material perlu diketahui terlebih dahulu *properties* dari jenis material yang digunakan. Material PCM yang digunakan pada penelitian ini adalah *paraffin wax* RT52 dengan *properties* seperti Tabel 3.1.

Untuk asumsi perubahan densitas menggunakan pendekatan model Boussinesq yaitu densitas konstan pada persamaan atur serta perubahan temperatur.

e. Cell Zone Conditions

Tahap ini mendefinisikan bagian-bagian yang akan digunakan seperti terlihat pada Gambar 3.18. Pada masing-masing bagian (*zone*) disesuaikan dengan nama dan jenis material yang digunakan.



Gambar 3.18. Menu Cell Zone Conditions

### f. Mesh Interface

Tahap *Mesh interface* merupakan pemberian batas antara dua zona fluida yang berbeda. Pada penelitian ini *interface* antara air dan pcm dianggap *Coupled-wall* karena disamping adanya faktor perpindahan panas *interface* ini juga untuk memisahkan antara dua fluida yang berbeda.

Saat melakukan *meshing* sistem akan membuat secara otomatis *interface* antara dua fluida akan tetapi *interface* tersebut merupakan *interface* biasa yang masih dapat bercampur satu sama lain sehingga pembuatan *interface Coupled-Wall* perlu dibuat secara manual pada menu *mesh interface* seperti terlihat pada Gambar 3.19.

Mesh Interface		Interface Zones Side 1		Interface Zones Side 2	
interface-coupled		interface4a-contact_region_3-src		interface4b-contact_region_3-trg	
	Ŧ	[1/18]	= = =	[1/18]	
contact_region contact region 2	^	interface3b-contact_region_4- interface4a-contact_region_3-	src	interface4a-contact_region_3-src interface4b-contact region 3-trg	
contact_region_5 contact_region_6 contact_region_7	<b>-</b>	interface4b-contact_region_3- interface5a-contact_region_5- interface5b-contact_region_5-	trg src trg ✓	interface5a-contact_region_5-src interface5b-contact_region_5-trg interface6a-contact_region_7-src	
Interface Options		Boundary Zones Side 1		Interface Wall Zones Side 1	
Periodic Boundary Condition		d-side1-wall-interface4a-conta	ct_region_3-src	interface-coupled-wall1-1-1	
Periodic Repeats		Boundary Zones Side 2		Interface Wall Zones Side 2	
Coupled Wall		I-side2-wall-interface4b-conta	ct_region_3-trg	interface-coupled-wall1-1-1-shadow	
Matching				Interface Interior Zones	
Mapped					
Static					v
< (					>

Gambar 3.19. Menu Mesh interface

### g. Boundary Conditions

Dalam tahap ini merupakan proses pemberian kondisi batas yang dibutuhkan pada simulasi ini. Data yang di *input* meliputi inlet, outlet, serta *interface*.

> Inlet

Sisi *inlet* terjadi aliran masuk dengan kecepatan 21pm dapat dilihat pada persamaan 3.2. tahap selanjutnya yaitu *Input* kecepatan fluida yang terjadi pada sistem seperti pada Gambar 3.20.

$$v = \frac{Q}{\pi \, x \, 60 \, x \, (r)^2} \quad ....(3.2)$$

Diketahui:

- $\blacktriangleright$  Debit (Q) = 2lpm
- ▶  $D = 0.038m \sim r = 0.019m$

$$V = \frac{2 \times (10^{-3})}{\pi \times 60s \times (0.019m)^2} = 0.03 \text{ m/s}$$

💶 Velocity Inle	t						×
Zone Name							
inlet							
Momentum	Thermal	Radiation	Species	DPM	Multiphase	Potential	UDS
Velocit	y Specificati	on Method M	lagnitude, N	Iormal to	Boundary		-
	Refere	nce Frame A	bsolute				•
	Velocity Ma	ignitude (m/:	s) 0.03		con	stant	•
Supersonic/Init	ial Gauge Pro	essure (pasca	il) 0		con	stant	*

Gambar 3.20. Menu Inlet pada boundary conditions

> Outlet

Dalam penelitian ini menggunakan tekanan 1 (*atm*) setara dengan 0 (*gauge*).

➤ Interface-wall

Dalam simulasi ini tidak menggunakan bentuk *geometry solid*, jadi untuk *geometry solid* tembaga dan GIP diasumsikan memasukan ketebalan dan material menggunakan *wall thickness* pada *interface* seperti pada Gambar 3.21.

one Name									
nterface-couple	ed-wall1-1-1								
djacent Cell Zo	ne								
:one2									
hadow Face Zo	one								
nterface-couple	ad-wall1-1-1	shadow							
Momentum	Thermal	Radiation	Species	DPM	Multiphase	UDS	Wall Film	Potential	
<ul> <li>Temperature</li> <li>Coupled</li> </ul>		Heat Generation Rate (w/m3) 0			con	constant			
O Heat Flux	LIGHTS				Wall T	hickness (	mm) 1.1		
Contract		Contact Resistance (m2-k/w) 0			con	istant			
Material Name		-							
copper		Edit							

Gambar 3.21. Wall thcikness/ketebalan pada interface

h. Solution Methods

Simulasi ini menggunakan Sceme SIMPLE, dengan tekanan dalam aliran tertutup sehingga pressure menggunakan Presto! supaya mudah converged serta momentum dan energy menggunakan QUICK karena simulasi ini menggunakan mesh quad/hex.

i. Solution Control

Tahap Solution Control yaitu masukan batas toleransi Under Relaxation Factor (URF) yang digunakan untuk mengatur suatu variable supaya converged. Semakin besar nilai toleransi URF maka perhitungan akan semakin sensitif sehingga akan meningkatkan terjadinya error, akan tetapi semakin kecil nilai URF maka akan menurunkan keakuratan hasil.

j. Monitor

Dalam menu monitor dapat menyimpan perubahan setiap iterasi, penyimpanan dapat berupa *file animation* maupun data excel yang akan dikonversi menjadi grafik perbandingan.

k. Solution Initialization

*Initialization* yang digunakan adalah *standard initialization* karena pada kasus pembekuan/pelelehan perlu memasukan nilai kondisi awal, dimana kondisi awal pada kasus pembekuan yaitu temperatur awal lebih tinggi dapat dilihat pada Gambar 3.22.

Solution Initialization	
Initialization Methods	
<ul> <li>Hybrid Initialization</li> </ul>	
Standard Initialization	
Compute from	
all-zones	~
Reference Frame	
Relative to Cell Zone	
○ Absolute	
Initial Values	
Gauge Pressure (pascal)	
0	
X Velocity (m/s)	
0	
Y Velocity (m/s)	
0	
Z Velocity (m/s)	
0	
Temperature (c)	
65	
Initialize Reset Patch	

Gambar 3.22. Menu Solution Initialization

### 1. Run Calculation

Tahap terakhir yaitu menentukan jumlah iterasi yang akan dijalankan dapat dilihat pada Gambar 3.23. pada kolom *Time Step Size* merupakan nilai yang akan dihitung setiap satu kali Iterasi per satuan waktu (*second*). Sedangkan *Max Iterations/Time Step* yaitu jumlah perhitungan dalam satu kali Iterasi dan *Number Of Time Step* merupakan jumlah Iterasi yang akan dijalankan. Jadi pada penelitian ini untuk menghitung 0,5*s* perlu 20 kali perhitungan dan akan dijalankan sampai 1000 kali perhitungan.

Check Case	Preview Mesh Motion
Time Stepping Metho	od Time Step Size (s)
Fixed	• 0.5
Settings	Number of Time Steps
	1000 ≑
Options	
Extrapolate Varia	bles
Data Sampling fo	r Time Statistics
Sampling Interval	
1	Sampling Options
Time Sam	npled (s) 0
Solid Time Step	
O User Specified	
Automatic	
Max Iterations/Time : 20	Step Reporting Interval
20 1222 (1993) 2003 (1993)	al
Profile Update Interv	
Profile Update Interv 1	÷
Profile Update Interv 1 Data File Quantities.	♣ Acoustic Signals
Profile Update Interv 1 Data File Quantities.	<ul> <li>Acoustic Signals,</li> <li>Acoustic Sources FFT</li> </ul>

Gambar 3.23. Menu Run Calculation

### 3.2.2.3 Post Processing

Setelah selesai melakukan proses kalkulasi tahap selanjutnya yaitu melihat hasil kalkulasi. Pada menu *Result* dapat menampilkan hasil berupa *graphics*, *plots*, *animation dan reoprt*.

a. Graphics

Penelitian ini dapat menampilkan *contour graphics* temperatur, *density* dan *liquid fraction* dalam 2D baik arah aksial maupun radial, penampilan *contour graphics* perlu ditampilkan pada bentuk bidang (*plane*) sebagai pemotong suatu area yang akan dilihat. Pada ANSYS Workbench *plane* secara otomatis terbagi menjadi 3 yaitu XY, YZ dan XZ pada umumnya plane XY menjadi plane default. Ataupun area *plane* dapat ditentukan dengan sumbu koordinat geometry secara manual seperti pada

Gambar 3.24.

Options Aligned with Aligned with Point and N Bounded Sample Poin Plane Tool	y Surface View Plane ormal	Sample Density Edge 1 1 2 Edge 2 1 2 Select Points Reset Points	Surfaces Filter Text	F,
Points			Normal	
x0 (mm)	x1 (mm)	x2 (mm)	ix (mm)	
0	0	600	1	
y0 (mm)	y1 (mm)	y2 (mm)	iy (mm)	
-63.24565	63.24565	63.24565	0	
z0 (mm)	z1 (mm)	z2 (mm)	iz (mm)	
0	0	0	0	
New Surface Nar	ne			

Gambar 3.24. Menu plane surface



Gambar 3.25. Tampilan plane temperatur arah aksial



Gambar 3.26. Tampilan *plane* arah radial (a) *density*, (b) *liquid fraction*.

b. Plots

Menu plots digunakan untuk menampilkan hasil berupa grafik perbandingan. Akan tetapi pada penelitian ini menampilkan grafik dari bentuk excel pada menu *report plot*.

c. Animations

Perubahan setiap kalkulasi dapat ditampilkan kembali menjadi pergerakan animasi dengan *Solution animations playback* (Gambar 3.27) pada bidang yang telah ditentukan.

Playback	×
Playback Playback Mode Play Once Start Frame Increment End Frame 10000 1 26169 1 Increment Increment I	imation Sequences nimation-6 nimation-5
SlowReplay SpeedFast	Delete All
Write/Record Format Animation Frames   Pic	ture Options
<	>
Write Read Close Help	

Gambar 3.27. Menu Solution animations playback