

## BAB II

### LANDASAN TEORI

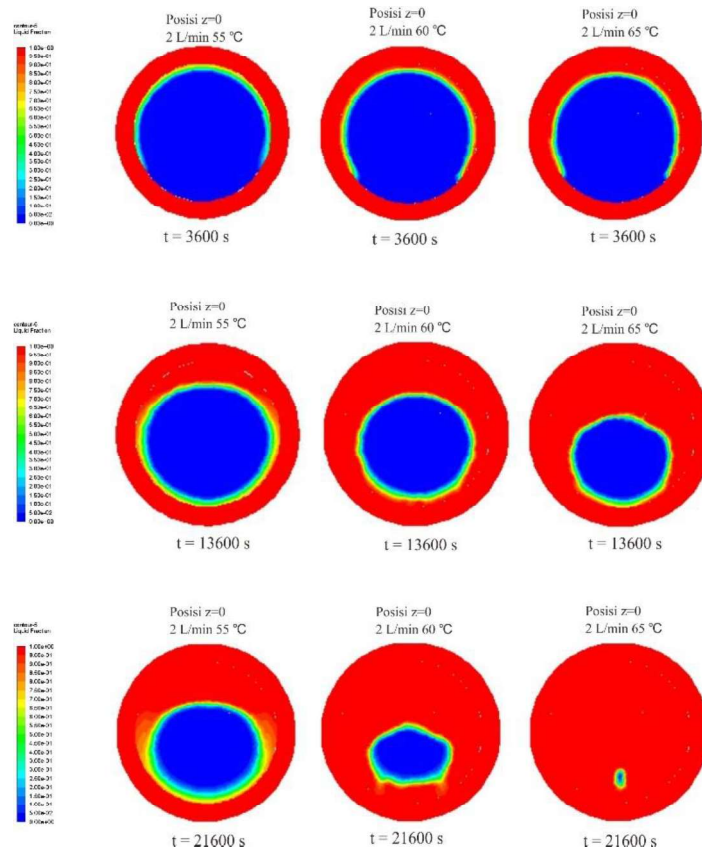
#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian berbasis simulasi modeling dengan pelelehan PCM telah banyak dilakukan oleh peneliti untuk memprediksi perpindahan kalor. Suhanan dan Nadjib (2017) melakukan studi numerik tentang simulasi numerik proses pelelehan *paraffin wax* pada unit penyimpanan energi termal tipe pipa ganda konsentrik. Pada penelitian tersebut yakni menganalisis evolusi temperatur air dan *paraffin wax* RT 52 selama proses *charging*. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa proses pelelehan PCM tidak terjadi secara isothermal dan transfer kalor ke PCM pada awal *charging* terjadi secara konduksi dan berlangsung secara cepat yang diakibatkan oleh besarnya gradient temperatur diarah radial pada fase padat.

Studi numerik tentang perbandingan permodelan dari pelelehan PCM *paraffin wax* dengan pemanas dari dalam secara horizontal pernah dilakukan oleh Regin dkk (2006). Dalam studi ini melakukan penelitian dengan menggunakan tiga permodelan yaitu pertama permodelan mencakup peranan konduksi, konveksi, tanpa *melting range* PCM, kedua permodelan diasumsikan terdapat peran konduksi, konveksi, dan tanpa *melting range* PCM, dan permodelan ketiga diasumsikan terdapat peranan konduksi dan tanpa *melting range*. Hasil penelitian yang didapat permodelan pertama yang paling mendekati hasil eksperimen dengan akumulasi *error* 10% yang terjadi saat memprediksi waktu pelelehan.

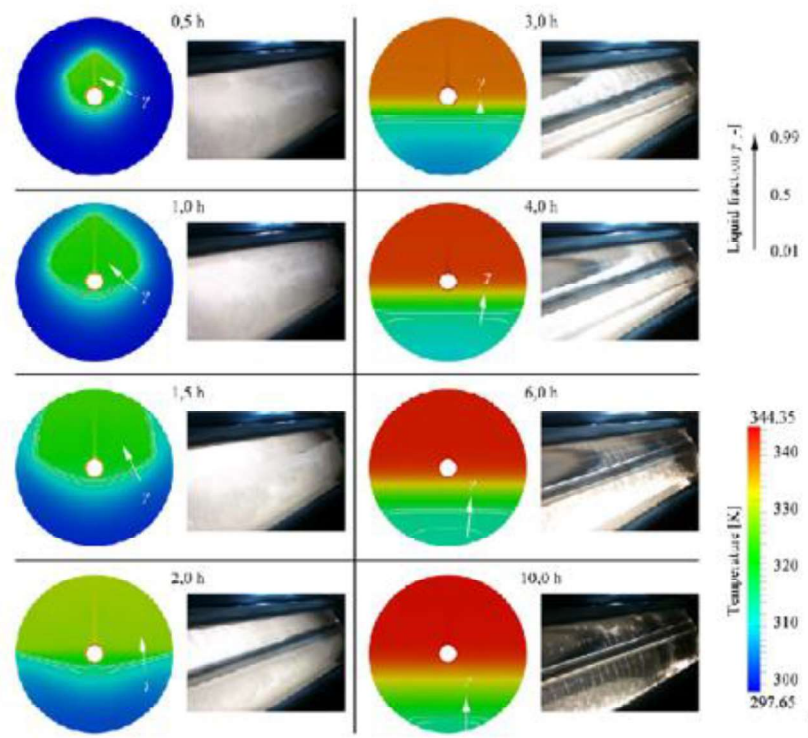
Nazarrudin R (2018) melakukan studi proses pelelehan *paraffin wax* didalam pipa ganda konsentrik dengan variasi temperatur air masuk 55 °C, 60 °C dan 65 °C menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) ANSYS Fluent 18.0 selama proses *charging*. Fokus pada pengujian yang dilakukan yaitu proses pelelehan *paraffin wax* pada *heat exchanger* dimana saluran *input* dan *output* HTF berada pada arah sumbu tabung TES. Hasil yang diperoleh dari pengujian tersebut bentuk kontur pelelehan *paraffin wax* pada arah radial tidak simetris, hal ini dikarenakan adanya besarnya perbedaan temperatur antara HTF dengan PCM. Dan terjadi *driving force* yang diakibat konveksi alami yang membuat pelelehan

*paraffin wax* paling banyak terbentuk pada bagian atas tabung PCM seperti gambar 2.1.



Gambar 2.1. Kontur Pelelehan PCM pada Arah Radial ( Nazarrudin R, 2018)

Rosler dkk (2011) pernah melakukan simulasi menggunakan *enthalpy porosity* dengan bentuk geometri pemanasan *shell and tube* dari dalam. Jenis nilai kalor pada PCM diasumsikan bergantung pada fraksi pelelehan. Tujuan dari penelitian ini untuk Mengetahui proses pelelehan PCM pada bentuk geometri pemanasan *shell and tube* dari dalam. Hasil yang diperoleh dari penelitian dengan menggunakan *Software Openfoam* untuk simulasi numerik, yang dilakukan dalam bentuk dua dimensi dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Perbandingan Kontur Pelelehan Simulasi dengan Eksperimen (Rosler dkk, 2011)

Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa daerah bagian atas tabung mengalami pelelehan terlebih dahulu (warna merah) dibandingkan daerah yang dibagian bawah tabung, hal ini dikarenakan sebagai efek dari adanya konveksi alami. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa konveksi alami sangat berperan penting saat terjadi pelelehan.

Pengujian menggunakan CFD tentang pembekuan PCM telah dilakukan oleh Neidu dkk (2016) tentang membandingkan permodelan tiga bentuk kapsul dari proses pembekuan PCM. Pada penelitian ini bahan yang digunakan sebagai PCM yaitu *sodium thiosulfate pentahydrate* ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) dengan model bentuk kapsul yang dianalisis adalah *cylindrical capsule*, *spherical capsule* dan *square capsule*. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini selama proses pembekuan nilai-nilai *heat flux* langsung terjadi diawal yang mengakibatkan PCM cair tidak terjadi kontak langsung dengan dinding pipa. Ketebalan lapisan pematatan meningkat seiring waktu dan perpindahan panas konduksi lebih dominan terjadi dari pada konveksi lalu dengan temperatur kondisi awal  $60^\circ\text{C}$  pada bentuk *spherical capsule*

memerlukan waktu lebih lama untuk proses *discharging* sempurna dibandingkan dengan bentuk *cylindrical capsule* dan *square capsule*.

Penelitian tentang simulasi pelelehan dan pembekuan pada *phase change material* (PCM) didalam pemanas air tenaga surya menggunakan metode perhitungan komputasi dinamik pernah dilakukan oleh Marsah (2014). Pada penelitian tersebut menggunakan aplikasi ANSYS Fluent 12.0 dengan model gambar 2D dengan dimensi 1025 x 160 mm dan jenis PCM yang digunakan yaitu *stearic acid*. Tujuan dari penelitian ini untuk Mengerahui proses membekunya PCM yang ada pada kolektor. Hasil yang didapatkan pada penelitian tersebut bahwa proses *discharging* sempurna berlangsung selama 6 jam.

Afrianto (2018) melakukan studi proses pembekuan *paraffin wax* di dalam pipa ganda konsentrik pada arah aksial dan radial dengan variasi temperatur kondisi awal *phase change material* (PCM) 55°C, 60°C dan 65°C menggunakan simulasi *computational fluida dynamics*. Pada penelitian ini *heat transfer fluida* (HTF) dialirkan melalui lubang *inlet* yang terletak pada garis sumbu tabung dengan mengasumsikan gesekan pada dinding diabaikan dan *heat loss* pada dinding luar diabaikan serta menggunakan laju aliran massa konstan. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini bahwa karakteristik pembekuan pada arah aksial lebih dominan terjadi terlebih dahulu pada daerah yang lebih dekat dengan saluran *inlet*.

Simulasi pelelehan *paraffin wax* RT 52 pada tabung silinder pernah dilakukan oleh Anggara F (2017). Pada penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik pelelehan PCM yang diterapkan pada *heat-exchanger* berbentuk silinder. Konfigurasi geometri terdiri atas dua tabung, dimana tabung dalam diisi oleh PCM sedangkan tabung luar sebagai tempat mengalirnya air panas. Air panas atau *heat transfer fluida* (HTF) dialirkan melalui lubang *inlet-outlet* yang terletak dibawah dan diatas dua tabung. Hasil yang di dapatkan menunjukkan bahwa konveksi alami berperan penting pada perpindahan kalor ke arah radial didalam tabung PCM. Pengaruh temperatur lebih besar dibandingkan pengaruh debit.

Penggunaan *paraffin wax* sebagai TES memiliki kekurangan yaitu memiliki konduktivitas termal yang rendah, sehingga perlu dilakukan pencampuran dengan material lain yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi. Seperti yang

dilakukan oleh Vanhas (2018) dengan melakukan pencampuran *terhadap paraffin wax* dengan minyak goreng. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik dari campuran *paraffin wax* dengan minyak goreng variasi 30%, 40% dan 50% dari volume total serta *paraffin wax* tanpa campuran. Hasil yang didapatkan bahwa untuk proses *charging* campuran *paraffin wax* dengan minyak goreng variasi 50% memiliki peningkatan kecepatan paling tinggi. Sedangkan dalam proses *discharging paraffin wax* tanpa campuran dapat menahan panas lebih baik daripada *paraffin wax* yang dicampur dengan minyak goreng.

Selain dicampur dengan minyak goreng, Alomair (2017) juga melakukan penelitian tentang campuran *paraffin wax* dengan nanopartikel *copper oxide* dan campuran *paraffin wax* dengan nanopartikel aluminium oksida. *Paraffin wax* yang digunakan pada penelitian adalah rubitherm (RT-18), sedangkan ukuran yang digunakan pada nanopartikel *copper oxide* dan nano partikel aluminium oksida sebesar 50 nm. Perbandingan massa *paraffin wax* dengan *copper oxide* dan aluminium oksida sebesar 1 %. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa waktu pelelehan pada campuran *paraffin wax* dengan *copper oxide* lebih cepat dari pada campuran *paraffin wax* dengan aluminium oksida.

Tabel 2.1. Ringkasan Tinjauan Pustaka

Penulis	Judul	Tujuan	Hasil
Suhanan dan Nadjib (2017)	Simulasi numerik proses pelelehan <i>paraffin wax</i> pada unit penyimpanan energi termal tipe pipa ganda konsentrik	Menganalisis evolusi temperatur air dan <i>paraffin wax</i> RT 52 selama proses <i>charging</i>	Proses pelelehan PCM tidak terjadi secara isothermal dan <i>transfer</i> kalor ke PCM pada awal <i>charging</i> terjadi secara konduksi dan berlangsung secara cepat yang diakibatkan oleh besarnya <i>gradient</i> temperatur diarah radial pada fase padat.
Regin dkk (2006)	<i>Latent heat thermal energy storage using cylindrical capsule: Numerical and experimental investigations</i>	Mengetahui pelelehan paraffin wax dengan menggunakan tiga permodelan dengan mencakup peran konduksi, konduksi dan tanpa <i>melting range</i> .	Permodelan pertama yang paling mendekati hasil eksperimen dengan akumulasi <i>error</i> 10% yang terjadi saat memprediksi waktu pelelehan.
Nazarrudin R (2018)	Studi proses pelelehan <i>paraffin wax</i> didalam pipa ganda konsentrik dengan variasi temperatur air masuk	Mengetahui proses pelelehan <i>paraffin wax</i> pada <i>heat exchanger</i> dimana saluran <i>input</i> dan <i>output</i>	Bentuk kontur pelelehan <i>paraffin wax</i> pada arah radial tidak simetris, hal ini dikarenakan adanya besarnya perbedaan temperatur antara HTF dengan PCM. Dan

Tabel 2.2. Ringkasan Tinjauan Pustaka (lanjutan)

	<p>menggunakan simulasi <i>Computational Fluida Dynamics (CFD)</i> ANSYS Fluent 18.0 selama proses <i>charging</i></p>	<p>HTF berada pada arah sumbu tabung TES</p>	<p>terjadi <i>driving force</i> yang diakibatkan konveksi alami yang membuat pelelehan <i>paraffin wax</i> paling banyak terbentuk pada bagian atas tabung PCM</p>
Rosler dkk (2011)	<p><i>Shell-and-tube type latent heat thermal energy storage: numerical analysis and comparison with experiments</i></p>	<p>Mengetahui proses pelelehan PCM pada bentuk geometri pemanasan <i>shell and tube</i> dari dalam.</p>	<p>Daerah bagian atas tabung mengalami pelelehan terlebih dahulu dibandingkan daerah yang dibagian bawah tabung, hal ini dikarenakan sebagai efek dari adanya konveksi alami</p>
Neidu dkk (2016)	<p><i>CFD Simulation for Charging and Discharging Process of Thermal Energy Storage System using Phase Change Material</i></p>	<p>Membandingkan proses pembekuan PCM dengan tiga model bentuk kapsul <i>cylindrical capsule, spherical capsule</i> dan <i>square capsule</i>.</p>	<p>Pada bentuk <i>spherical capsule</i> memerlukan waktu lebih lama untuk proses <i>discharging</i> sempurna dibandingkan dengan bentuk <i>cylindrical capsule</i> dan <i>square capsule</i>.</p>

Tabel 2.3. Ringkasan Tinjauan Pustaka (lanjutan)

Marsah (2014)	Simulasi Pelelehan dan Pembekuan pada <i>Phase Change Material</i> di Dalam Pemanas Air Tenaga Surya dengan Menggunakan Metode Perhitungan Komputasi Dinamik	Mengetahui proses membekunya PCM yang ada pada kolektor.	Pada penelitian tersebut bahwa proses <i>discharging</i> sempurna berlangsung selama 6 jam
Afrianto (2018)	Studi Proses Pembekuan <i>Paraffin Wax</i> di Dalam Pipa Ganda Konsentrik dengan Variasi Temperatur Kondisi Awal <i>Phase Change Material</i> Menggunakan Simulasi <i>Computational Fluid Dynamics</i>	Mengetahui hasil proses pembekuan <i>paraffin wax</i> di dalam tabung pipa ganda konsentrik pada arah aksial dan radial.	Bahwa karakteristik pembekuan pada arah aksial lebih dominan terjadi terlebih dahulu pada daerah yang lebih dekat dengan saluran <i>inlet</i> .
Anggara (2017)	Simulasi Pelelehan <i>Paraffin</i>	mempelajari karakteristik pelelehan PCM yang diterapkan	konveksi alami berperan penting pada perpindahan kalor ke arah radial didalam



Tabel 2.4. Ringkasan Tinjauan Pustaka (lanjutan)

	<p><i>Wax</i> RT52 pada Tabung Silinder</p>	<p>pada <i>heat-exchanger</i> berbentuk silinder</p>	<p>tabung PCM. Pengaruh temperatur lebih besar dibandingkan pengaruh debit.</p>
<p>Vanhas (2018)</p>	<p>Analisis Thermal Kolektor Pemanas Air Menggunakan <i>Phase Change Material Paraffin</i> – Minyak Goreng</p>	<p>Mengetahui karakteristik penyimpanan termal dan perubahan fasa PCM <i>paraffin wax</i> dengan paduan minyak goreng 30 %, 40 % dan 50 % dari volume total serta <i>paraffin wax</i> tanpa campuran.</p>	<p>Pada proses <i>charging</i> campuran <i>paraffin wax</i> dengan minyak goreng variasi 50 % memiliki peningkatan kecepatan temperatur paling tinggi. Sementara pada proses <i>discharging</i>, <i>paraffin wax</i> tanpa campuran dapat menahan panas lebih lama daripada <i>paraffin wax</i> yang dicampur dengan minyak goreng.</p>
<p>Alomair dkk. (2017)</p>	<p><i>Nanoparticle Enhanced Phase Change Material in Latent Heat Thermal Energy Storage System : An Experimental Study</i></p>	<p>Mengetahui waktu pelelehan campuran <i>paraffin wax</i> dengan <i>copper oxide</i> dan campuran <i>paraffin wax</i> dengan aluminium oksida.</p>	<p>Waktu pelelehan campuran <i>paraffin wax</i> dengan <i>copper oxide</i> lebih cepat daripada campuran <i>paraffin wax</i> dengan aluminium oksida.</p>

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Definisi *Thermal Energy Storage* (TES)

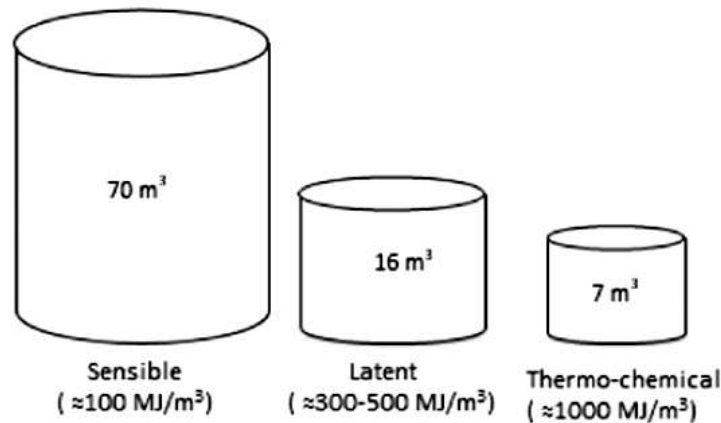
*Thermal Energy Storage* (TES) merupakan suatu teknologi yang digunakan sebagai penyimpan energi termal, dimana prinsip kerjanya seperti baterai akan tetapi TES hanya menyimpan energi termal yang berasal dari sumber panas dan digunakan pada saat diinginkan. Menurut Lefebvre dan Tezel, (2017) bahwa energi dapat disimpan ataupun dilepas karena adanya proses *melting, solidifying, heating, cooling, vaporizing* dan *thermo-chemical*. Sedangkan pengaplikasian TES sendiri memiliki tiga siklus yaitu *charging, storage, dan discharging* (Cabeza dkk, 2015). *Charging* merupakan proses memindahkan energi dari *heat transfer fluida* (HTF) ke media penyimpanan energi. Proses *charging* dilakukan selama media fase belum mengalami perubahan dan temperaturnya masih rendah. Kemudian proses *storage* merupakan proses yang memiliki tujuan menjaga energi yang telah tersimpan agar tidak berkurang dalam jangka waktu yang telah diprediksikan. Sedangkan proses *discharging* merupakan proses memindahkan energi dari media penyimpanan ke HTF. Proses tersebut bertujuan untuk memanfaatkan kembali energi yang telah tersimpan.

Menurut Akgun dkk (2007) menyatakan bahwa *Thermal Energy Storage* (TES) mampu menyimpan energi termal ke dalam tiga bentuk yaitu *sensible heat, latent heat, dan thermochemical*. Bentuk energi termal yang sering disimpan antara lain *Sensible Heat Thermal Energy Storage* (SHTES), *Latent Heat Thermal Energy Storage* (LHTES) dan *thermos-chemical storage*.

#### 2.2.1.1 *Sensible Heat Thermal Energy Storage* (SHTES)

*Sensible Heat Thermal Energy Storage* merupakan suatu aplikasi dari TES, energi termal yang telah tersimpan didalam sistem ditunjukkan dengan adanya perubahan temperatur pada material penyimpan energi. Aplikasi SHTES digolongkan menjadi dua tipe yaitu cair dan padat. Media penyimpanan cair yang digunakan berupa air, minyak dan *molten salts*, sedangkan untuk media penyimpan padat berupa logam padat. Keunggulan yang dimiliki SHTES adalah harganya murah dan mudah didapatkan. Sedangkan kekurangan dari SHTES yaitu densitas

energinya paling rendah diantara tipe *storage* yang lain lihat pada gambar 2.3. Jadi, SHTES akan memerlukan volume yang lebih besar untuk penyimpanan jumlah energi yang sama.



Gambar 2.3. Volume dari Storage untuk Penyimpanan (1800 kWh) (Levevre dan Tezel, 2017)

Total energi pada SHS dapat dicari atau dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1).

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mcp \, dT = mc_{ap} (T_f - T_i) = \rho V c_{ap} (T_f - T) \dots\dots\dots (2.1).$$

Perbandingan atau selisi temperatur awal ( $T_i$ ) dan temperatur akhir ( $T_f$ ) dalam satuan °C ; massa material penyimpanan ( $m$ ) dalam satuan kg ; massa jenis ( $\rho$ ) dalam satuan kg/m<sup>3</sup> ; kalor jenis rata-rata material penyimpanan saat proses ( $C_{ap}$ ) dalam satuan (J/kg,°C) dan volume material ( $V$ ) dalam satuan m<sup>3</sup>.

#### 2.2.1.2 Latent Heat Thermal Energy Storage (LHTES)

*Latent Heat Thermal Energy Storage* (LHTES) merupakan suatu aplikasi dari TES, energi termal yang tersimpan didalam sistem penyimpanan (PCM) akan disimpan dalam bentuk energi laten. Pada PCM akan terjadi perubahan fase dari fase padat menjadi fase cair dan temperatur lelehnya relatif stabil saat penyimpanan energi (Dincer dkk, 2011). Keunggulan yang paling menonjol dari LHTES adalah memiliki densitas energinya yang besar, sehingga mampu menyimpan energi yang besar pada wadah yang relatif kecil (Zhou dan Zhau, 2011), penyimpanan volume kalor tiap unit lebih besar dari pada SHS, pelepasan kalor

yang terjadi pada temperatur yang konstan dan mempunyai keunggulan dalam operasional dibandingkan SHS karena fluktuasi temperaturnya rendah, ukuran lebih kecil, dan berat tiap unit lebih rendah (Canbazoglu dkk , 2005).

Total energi dari material PCM dapat dicari atau dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2.

$$Q = m \left[ \int_{T_A}^{T_D} c_{p,s}(T) dT + L \int_{T_E}^{T_F} c_{p,l}(T) dT + L_g + \int_{T_G}^{T_H} c_{p,g}(T) dT \right] \quad (2.2)$$

dengan :

$m$  = massa (kg)

$L$  = kalor laten perubahan padat-cair (J/kg)

$L_g$  = kalor laten cair-gas (J/kg)

$C_{p,g}$  = kalor jenis material fase gas (J/kg°C)

$C_{p,l}$  = kalor jenis material fase cair (J/kg°C)

$C_{p,s}$  = kalor jenis material fase padat (J/kg°C)

### 2.2.1.3 Thermo-Chemical Storage

*Thermos-chemical storage* merupakan penggunaan teknologi modern di bidang penyimpanan panas. Sistem yang digunakan untuk penyimpanan panas *thermos-chemical storage* yaitu memakai reaksi kimia dalam penyimpan energi. Proses pada *thermos-chemical storage* adalah energi yang masuk akan tersimpan akibat adanya reaksi *reversible* dan melepas kembali ketika reaksi tersebut dibalik. Keunggulan *thermos-chemical storage* yakni mempunyai densitas energi yang tinggi, namun kekurangan tipe ini membutuhkan katalisator untuk melepas energi dan mengatur reaksi kimia.

Total energi pada material *thermol-chemical storage* dapat dicari atau dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$Q = \alpha_r \cdot m \cdot \Delta h_r \quad \dots \dots \dots (2.3).$$

dengan :

$m$  = massa material penyimpan (kg)

$\Delta h_r$  = kalor endotermik (kJ/mol)

$\alpha_r$  = fraksi yang bereaksi (%)

### 2.2.2. Phase Change Material (PCM)

*Phase change material* merupakan komponen terpenting dari LHTES yang memiliki panas fusi yang tinggi yang dapat meleleh dan membeku pada suhu tertentu yang digunakan sebagai media penyimpanan energi termal. Tipe-tipe PCM yang sering digunakan yaitu air/es, *salt hydrate*, dan beberapa pomiler (Dincer dkk, 2011). PCM yang akan digunakan sebagai penyimpan energi termal harus memiliki beberapa pertimbangan yang baik supaya dapat diterapkan dengan baik, diantaranya yaitu : memiliki *enthalpy latent* yang tinggi, kemampuan PCM untuk kembali ke fase awal secara menyeluruh, temperatur leleh PCM disesuaikan dengan temperatur HTF, tidak mengalami reaksi kimia antara PCM dengan tabung, perubahan volume PCM saat berubah fase tidak terlalu besar, tidak beracun dan murah. Material yang sering digunakan sebagai PCM adalah *paraffin wax* karena memiliki densitas mencapai (~200 kJ/kg) sehingga dapat menyimpan energi yang cukup besar, *melting point* kisaran 8 sampai 106 °C dan siklus termalnya mampu bertahan selama 1500 siklus. Oleh sebab itu *paraffin wax* dianggap mampu menyimpan energi termal yang cukup tinggi.

### 2.2.3. Konduksi

Konduksi yaitu perpindahan kalor pada suatu zat melalui perantara atau media pengantar tanpa disertai dengan perpindahan partikel-partikelnya. Pada umumnya perpindahan kalor secara konduksi terjadi pada suatu zat yang padat. Sedangkan media penghantar pada perpindahan kalor konduksi disebut konduktor.

$$\dot{Q}_K = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X} \dots\dots\dots (2.4).$$

dengan :

$\dot{Q}_K$  = Laju perpindahan kalor konduksi (Watt)

k = Konduktivitas termal (W/m.K)

A = Luas perpindahan kalor (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Perubahan suhu (K)

$\Delta X$  = Tebal (m)

#### 2.2.4. Konveksi alami

Pada tahap proses pelelehan PCM perpindahan kalor pada tabung PCM berupa konduksi, setelah PCM mulai mencair konveksi alamiah yang menjadi faktor dominan terjadinya perpindahan kalor dalam tabung PCM (Regin dkk, 2006), (Rosler dkk, 2011), (Longeon dkk, 2013). Konveksi alami terjadi selama distribusi temperatur tidak seragam dan adanya gaya gravitasi yang bekerja (Jiji, 2006). Dampak yang timbul akibat konveksi alami yaitu terjadinya *driving force* yang memaksa fluida untuk bersirkulasi akibat perbedaan massa jenis. Massa jenis yang ringan akan menempati ruangan pada lapisan atas.

Persamaan laju perpindahan kalor konveksi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5.

$$q = hA(T_w - T) \dots\dots\dots (2.5).$$

dengan :

q = Laju perpindahan kalor (Watt)

A = Luas penampang ( $m^2$ )

$T_w$  = Temperatur dinding (K)

T = Temperatur fluida (K)

h = Koefisien konveksi ( $W/m^2.K$ )

#### 2.2.5. Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan panas yang tidak memerlukan media perantara. Perpindahan panas radiasi biasa terjadi pada bentuk gelombang elektromagnetik yang berasal dari sinar matahari karena adanya tumpukan energi termal pada semua benda. Apabila energi radiasi mengenai suatu benda, maka energinya ada yang dipantulkan, diserap dan diteruskan. Persamaan laju perpindahan panas radiasi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$Q = \sigma eAT^4 \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

q= Laju perpindahan kalor (W)

$\sigma$ = Konstanta Stefan-Boltzman ( $5,669 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$ )

e = Emisivitas permukaan benda

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

T = Temperatur (K)

### 2.2.6. Computational Fluid Dynamics (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* merupakan sebuah metode yang sering digunakan sebagai alat simulasi untuk perilaku fluida dinamis dengan menggunakan metode numerik. Pada penggunaan CFD peranan komputer sangat diperlukan sebagai media untuk proses simulasi dalam bentuk iterasi. Elemen penting dalam CFD yaitu diskritisasi. Pembentukan grid dan transformasi koordinat, pemecah persamaan aljabar, permodelaan turbulensi, dan visualisasi. Pada metode numerik solusi dari diferensial parsial memerlukan persamaan sifat kontinyu dari persamaan dan bentuk diskrip. CFD terdiri dari tiga persamaan atur yang menjadi dasar dalam proses kalkulasi, persamaan *Navier-stokes* pada CFD terdiri dari persamaan atur massa, persamaan atur momentum dan persamaan atur energi. Ketiga persamaan tersebut akan diturunkan menjadi persamaan aljabar. Berikut persamaan 2.7, 2.8 dan 2.10 merupakan persamaan umum yang sering digunakan pada simulasi numerik yang diatur dalam *theory guide* ANSYS Fluent untuk *basic fluid flow*.

- a. Persamaan atur massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \dots\dots\dots (2.7).$$

- b. Persamaan atur momentum

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} V) = -\nabla \rho + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \dots\dots\dots (2.8).$$

$$\bar{\tau} = \mu \left[ (\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{3}{2} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \dots\dots\dots (2.9).$$

- c. Persamaan atur energi

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho H) + \nabla \cdot (\rho V H) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S \dots\dots\dots (2.10).$$

$$H = h + \Delta H \dots\dots\dots (2.11).$$

$$h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^T c_p dT \dots\dots\dots (2.12).$$

dengan :

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

$p$  = *Static pressure* (Pa)

$\bar{\tau}$  = *Stress tensor* (Pa)

$t$  = Waktu (s)

$\vec{v}$  = Kecepatan (m/s)

$l$  = Unit tensor

$\vec{F}$  = Gaya eksternal (N)

$\vec{g}$  = Gaya gravitasi (N)

$\nabla$  = *Nabla*

$\mu$  = Viskositas (Pa.s)

$H$  = *Enthalpy* (J/kg)

$c_p$  = *Specific heat* (J/kg.K)

$\Delta H$  = *Latent heat* (J/kg)

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

$T$  = Temperatur (K)

$S$  = *Source term*

$h_{ref}$  = *Reference enthalpy* (J/kg)

$T_{ref}$  = *Reference temperature* (K)

Persamaan yang awalnya memiliki jumlah sel yang tak terhingga (kontinum) diubah menjadi jumlah sel terhingga (diskrit). Disamping tiga persamaan atur tersebut, dapat pula ditambahkan model tambahan sesuai dengan kasus yang akan disimulasikan.

*Software CFD* sendiri memiliki berbagai ragam perangkat lunak yang dapat digunakan. ANSYS Fluent merupakan suatu pilihan yang sering digunakan karena memiliki fitur yang lengkap dan memudahkan dalam pengoperasian.

### 2.2.7. *Software ANSYS Fluent 18.0*

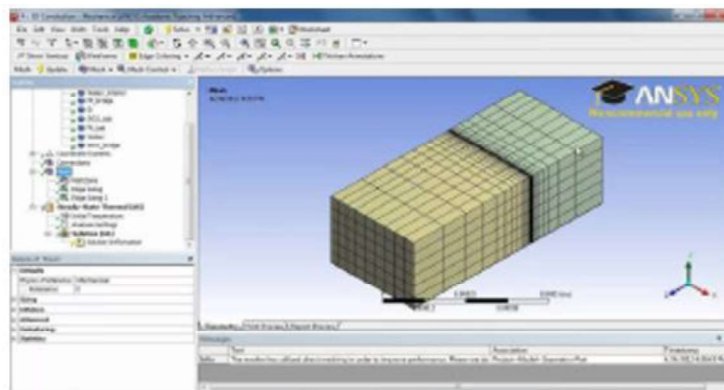
ANSYS Fluent merupakan salah satu jenis program simulasi CFD yang menggunakan metode volume. ANSYS Fluent dapat menyelesaikan permasalahan



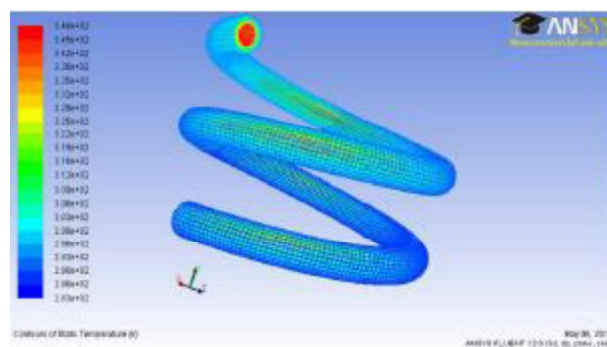
dalam sebuah aliran fluida dengan membagi volume menjadi *mesh* (grid) yang terstruktur dengan metode diskretisasi. Fluent didukung oleh beberapa jenis bentuk *mesh*, jenis *mesh* 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*) sehingga pemilihan *mesh* dapat diatur dengan sedemikian rupa seperti gambar 2.4, gambar 2.5 dan gambar 2.6 merupakan logo ANSYS dan *Preview Post-processing* pada ANSYS Fluent.



Gambar 2.4. Logo ANSYS Fluent"®"



Gambar 2.5. *Preview* ANSYS Fluent



Gambar 2.6. *Preview Post-processing* ANSYS Fluent

Fluent memiliki struktur data yang lebih simple dan *flexible* karena kode pada Fluent ditulis dalam bahasa C. Persamaan pada Fluent juga sudah *include* karena Fluent termasuk dalam sistem *graphic user interface* (GUI) serta Fluent dapat dijalankan secara individu pada *desktop* dan komputer server pada proses

mandiri yang terpisah. Dalam dunia industri Fluent sering digunakan untuk desain suatu sistem aliran fluida serta untuk mencari sumber analisis kegagalan suatu sistem fluida. Klasifikasi penggunaan Fluent didalam dunia industri secara umum antara lain : *aerospace*, otomotif, *biomedical*, proses kimia, semikonduktor, petrokimia, polimer, pembangkit tenaga, dan *turbomachinery*.

### 2.2.8. Proses Simulasi ANSYS Fluent

Pada proses simulasi CFD terdapat tiga tahap yang perlu dilakukan yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan *software* ANSYS Fluent ataupun menggunakan *software* lain sesuai dengan tingkat kerumitan geometri.

#### 2.2.8.1 *Pre-processing*

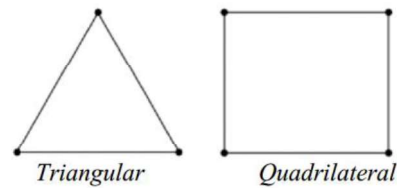
*Pre-processing* merupakan sebuah tahap awal pada proses simulasi ANSYS Fluent , berikut ini merupakan tahap-tahap *pre-processing* :

##### 1. Pembuatan bentuk geometri benda kerja

Pada proses pembuatan bentuk geometri dapat menggunakan langsung *software* pada ANSYS Fluent atau dapat meng-*ekspor* menggunakan *software* lainnya seperti inventor dan solidworks untuk geometri yang rumit.

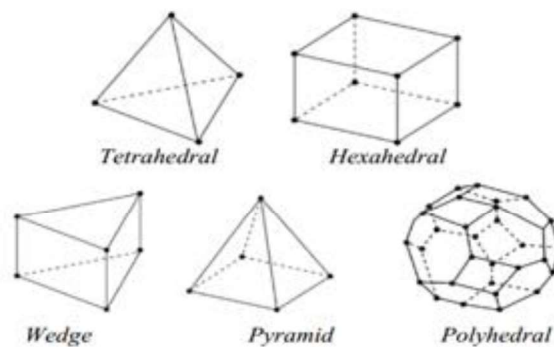
##### 2. Proses *meshing*

*Meshing* merupakan proses membagi komponen yang akan dianalisis menjadi bagian kecil dalam satu kesatuan domain. Ukuran dan bentuk *mesh* dapat mempengaruhi hasil dari simulasi CFD, semakin baik kualitas *mesh* maka akurasi hasil akhir akan semakin baik. Semakin kecil ukuran *mesh* terhadap ukuran domain, maka semakin banyak akumulasi *mesh* sehingga proses simulasi akan membutuhkan waktu yang lama dan membutuhkan perangkat komputer dengan spesifikasi tinggi. *Mesh* pada bentuk 2 dimensi terdapat 2 jenis sel yaitu *Triangel* dan *Quadrilateral*.



Gambar 2.7. Bentuk Sel 2 Dimensi

Sedangkan pada bentuk 3 dimensi terdapat 5 jenis sel yaitu *Tetrahedron*, *Pyramid*, *Triangular Prism*, *Hexahedron* dan *polyhedral*.



Gambar 2.8. Bentuk Sel 3 Dimensi

Bentuk *mesh* tidak selalu berbentuk heksa. Penggunaan bentuk *mesh tetrahedron* dapat dilakukan pada bentuk geometri yang rumit. Untuk mengetahui kualitas *mesh* dapat menggunakan ANSYS Fluent dengan parameter *skewness* dan *orthogonal quality*. *Skewness* adalah kualitas *mesh* pada parameter yang mengarah pada sudut kemiringan *mesh*, sedangkan *orthogonal quality* merupakan kualitas *mesh* pada parameter yang tegak lurus pada bentuk *mesh* dengan tingkat *orthogonal*.

### 3. General

Pada general terdapat *solver setting* yang terdapat 2 model *type solver* yaitu *pressure-based* dan *density-based* dan *time solver* yaitu *steady* dan *transient*.

#### a. *Pressure-based*

*Pressure-based* menggunakan persamaan momentum, konverksi massa (kontinuitas) sebagai formula utama. *pressure-based* banyak digunakan untuk regin aliran yang luas, termasuk

aliran *incompressible*, *compressible* dan aliran dibawah kecepatan supersonik.

b. *Density-based*

*Density-based* menggunakan persamaan energi, momentum, kontinuitas dan spesies dalam perhitungan. Pada *density-based* cenderung digunakan jika ada terdapat kaintannya antara densitas, energi, momentum dan spesien seperti contoh pada aliran *compressible* kecepatan tinggi (kecepatan diatas supersonik), interaksi *shockwave* dan lainnya.

c. *Steady*

*Steady* yaitu menentukan bawah variable pada simulasi tidak berubah terhadap waktu.

d. *Transient*

*Transient* yaitu menentukan bahwa variable pada simulasi berubah terhadap waktu.

4. Menetapkan *Models* dan *viscous* dari simulasi

Pada Ansys Fluent terdapat penentuan model skenario yang perlu dilakukan salah satunya penentuannya yaitu *Models Energy* berfungsi untuk mengaktifkan energi pada sebuah kasus simulasi dan *Models Solidification & Melting* merupakan model yang digunakan untuk mensimulasikan perubahan fase pada material.

Formulasi aliran fluida terdapat beberapa model aliran yang dapat digunakan sesuai dengan kasus yang akan diteliti. Terdapat dua jenis aliran yang dapat digunakan yaitu aliran laminar dan turbulen. Terdapat beberapa jenis aliran dalam model *viscous* yaitu :

a. *Inviscid*

*Inviscid* digunakan pada aliran yang tidak mengalami perubahan viscositas. Nilai viskositasnya konstan dan gesekan antar partikel relatif rendah.

b. *Laminar*

Model ini dapat digunakan pada aliran yang fluidanya bergerak dalam lapisan atau laminar dengan satu lapisan luncur secara lancar.

c. *Spalart-allamaras*

*Spalart-allamaras* yaitu aliran turbulen dengan menggunakan satu persamaan yang menyelesaikan model persamaan *transport* untuk viskositas kinematik turbulen. Model ini digunakan untuk aplikasi dunia penerbangan yang melibatkan aliran *wall-baounded* dan simulasi yang relatif kasar dengan ukuran mesh yang besar.

d. Model *K-epsilon*

*K-epsilon* merupakan aliran turbulen yang cukup lengkap dengan menggunakan dua persamaan, sehingga memungkinkan kecepatan turbulen dan skala panjang ditentukan secara independen. Model ini memiliki kestabilan pada alirannya, ekonomis pada sisi komputasi dan akurasi yang memadai untuk berbagai jenis aliran turbulen.

e. Model *K-omega*

*K-omega* merupakan aliran turbulen yang mempunyai dua model yaitu *k-omega* standar dan *k-omega* SST (*shear stress transport*). *K-omega* standar adalah model yang memasukan beberapa modifikasi untuk menghitung aliran pada bilangan *Reynolds* yang rendah, kompresibilitas dan penyebaran aliran geser. Sedangkan *K-omega* SST hampir sama dengan *K-omega* standar, dengan beberapa perbaikan seperti penggabungan model *K-omega* standar dan *K-epsilon* yang telah diubah dalam satu pencampuran sehingga lebih akurat untuk aliran yang dekat dinding ataupun yang jauh dari dinding.

f. Model *Reynold stress*

*Reynold stress* merupakan model turbulensi yang paling teliti namun waktu yang dibutuhkan untuk komputansi lebih lama.

g. Model *Large Eddy Simulation* (LES)

*Large Eddy Simulation* merupakan aliran turbulen yang tidak dapat digunakan untuk seluruh masalah teknik karena membutuhkan daya komputasi yang besar.

h. *Near Wall Treatment Model*

*Near wall treatment model* digunakan untuk memprediksi karakteristik aliran yang didekat dinding, terutama pada aliran yang sangat pengaruh oleh dinding (*wall-bonded flow*).

5. Menentukan *cell zone* dan jenis material.

Pada *library* ANSYS Fluent terdapat beberapa jenis material yang dapat digunakan untuk simulasi sesuai dengan jenis materialnya, baik berupa material *fluid* maupun *solid*.

6. Mengatur *boundary conditions*

a. *Axis* dan *Symmetry*

Kondisi batas *axis* digunakan untuk sebagai garis tengah (*centerline*) untuk kasus 2D *axis symmetry*. Sedangkan *symmetry* digunakan untuk model geometri kasus yang bersangkutan dan pola aliran pada model tersebut adalah *symmetry*. *Intake Fan* dan *Exhaust Fan*

Kondisi batas ini digunakan untuk model saluran *inlet/outlet* dimana terdapat *blower* disisi luar saluran untuk menghembus/menghisap fluida didalam saluran.

b. *Inlet Vent* dan *Outlet Van*

Kondisi batas ini digunakan untuk model saluran *inlet/outlet* dimana terdapat ventilasi disisi saluran *inlet/outlet* yang dapat menimbulkan kerugian tekanan pada aliran.

c. *Velocity Inlet*

*Velocity inlet* digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran besaran *scalar* lainnya pada sisi aliran *inlet*.

d. *Pressure Inlet*

Data tekanan total (*absolute*), tekanan *gauge*, *temperature* arah aliran dari nilai tekanan operasi. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

e. *Pressure Outlet*

*Pressure outlet* digunakan untuk menentukan nilai tekanan statik pada sisi *outlet*..

f. *Mass Flow Inlet*

*Mass flow inlet* berfungsi untuk mendefinisikan kecepatan laju aliran massa.

g. *Wall*

*Wall* digunakan sebagai dinding pemisah untuk aliran fluida dalam saluran atau dinding saluran. Kondisi batas ini juga digunakan untuk pembatas antara fluida cair, gas dan padat.

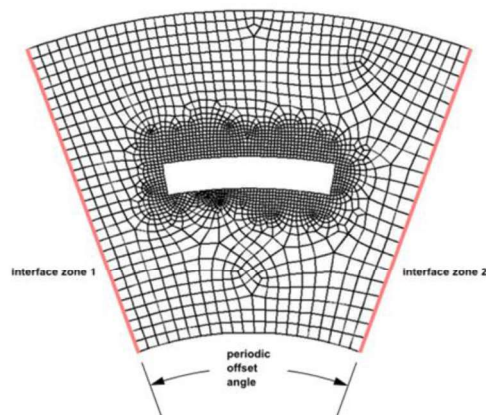
h. *Outflow*

*Outflow* digunakan apabila data keluar pada sisi keluar tidak diketahui sama sekali.

7. *Mesh Interface*

a. *Periodic Boundary Condition*

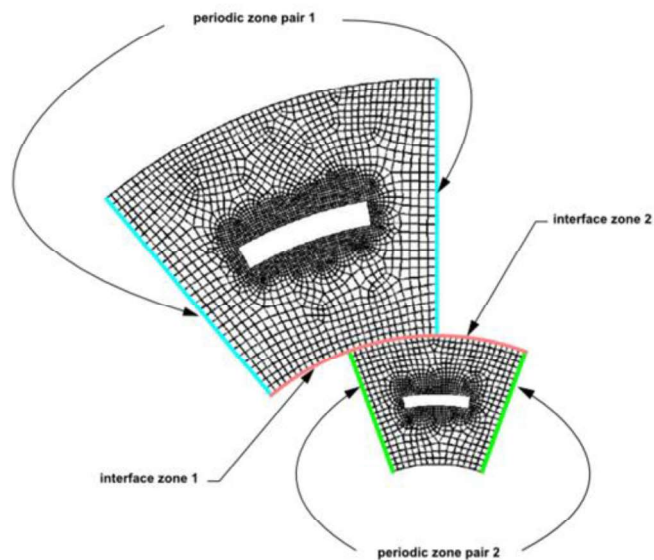
*Periodic boundary condition* digunakan ketika geometri mengalami sifat berulang secara berkala. *Mesh interface periodic boundary condition* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. *Periodic Boundary Condition*

b. *Periodic Repeats*

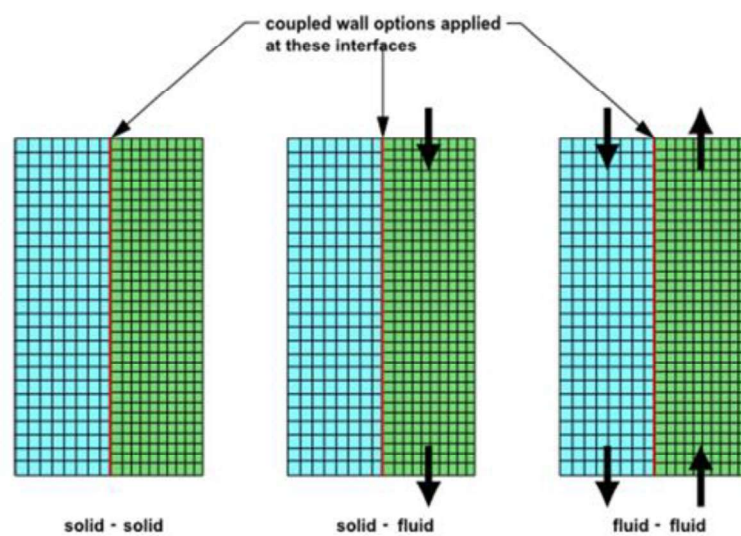
*Periodic Repeats* digunakan ketika geometri memiliki dua atau lebih *cell zones* yang terhubung dan mengalami sifat berulang secara berkala. Gambar 2.10 menunjukkan gambar *periodic repeats*.



Gambar 2.10. *Periodic Repeats*

c. *Coupled Wall*

*Coupled wall* digunakan untuk menghubungkan antar *interface* yang berbeda *wall condition*. *Coupled wall* ditunjukkan pada Gambar 2.11.

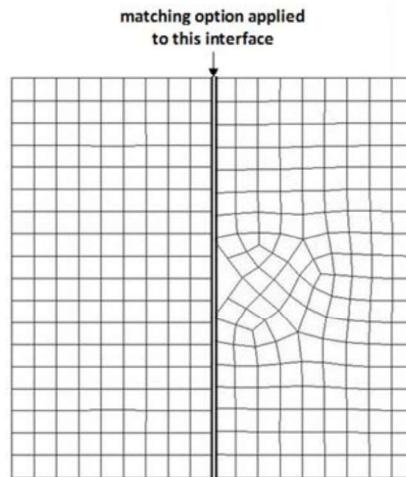


Gambar 2.11. *Coupled Wall*



d. *Matching*

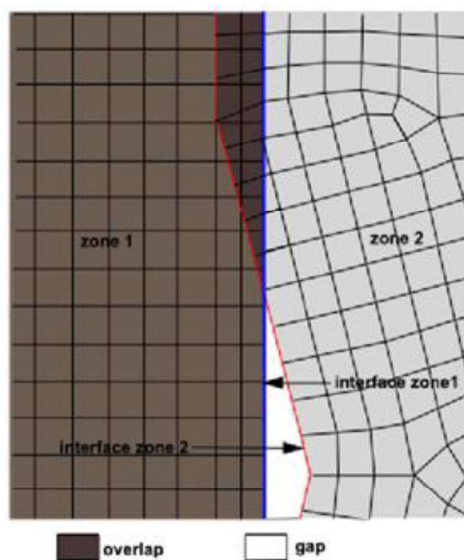
*Matching* digunakan ketika dua *interface zone* tidak terhubung dengan baik seperti bentuk *mesh* yang berbeda, geometri yang tidak terhubung atau memiliki gap. Contoh kasus penggunaan *interface matching* dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. *Matching*

e. *Mapped*

Penggunaan *mapped* tidak jauh berbeda dengan penggunaan *coupled*. *Mapped* dipilih ketika dua *wall condition* yang terhubung memiliki gap atau *overlap*.



Gambar 2.13. *Mapped*

f. *Static*

*Static* digunakan ketika geometri tidak mengalami sifat bergerak.

8. *Dynamic mesh*

*Dynamic mesh* berfungsi untuk menentukan parameter model *mesh* yang bergerak. Ada tiga jenis parameter yang terdapat pada *dynamic mesh* yaitu *smoothing*, *layering*, dan *remeshing*.

9. *Solution Methods*

a. *Semi Implicit Method For Pressure Linked Equality* (SIMPLE)

SIMPLE diaplikasikan untuk skema kasar dan masih sederhana.

b. *SIMPLE Consistent* (SIMPLEC)

SIMPLEC diaplikasikan untuk aliran yang sederhana sehingga dapat mempercepat konvergen, misalnya pada aliran laminar dengan bentuk geometri yang tidak terlalu kompleks.

c. *Pressure Implicit With Splitting Of Operators* (PISO)

PISO digunakan pada kondisi *transient* atau kasus dengan *mesh* yang mengandung *skewness* yang tinggi. PISO menggunakan dua faktor koreksi tambahan Untuk meningkatkan perhitungan yaitu *neighbor correction* dan *skewness correction*. *Neighbor correction* yaitu proses interaksi yang disebut koreksi momentum. dengan tambahan *neighbor correction* maka *control processing unit* (CPU) pada komputer mengalami penambahan waktu untuk melakukan proses interaksi, akan tetapi dapat menurunkan nomor interaksi dibutuhkan untuk mencapai konvergen. Sedangkan *skewness correction* yaitu proses perhitungan ulang untuk gradien koreksi tekanan yang berfungsi untuk memperbarui koreksi *fluks* massa.

d. *Coupled*

*Coupled* digunakan berdasarkan hasil gabungan tekanan *solver* (konvergen lebih cepat dari *segregated*).

e. *Least Squared Cell Based*

*Least squared cell based* diaplikasikan untuk persamaan konveksi massa, momentum, energi, serta besaran *scalar* lainnya seperti turbulen dan reaksi kimia.

f. *Green-Gauss Cell Based*

*Green-gause cell based* digunakan untuk menghitung jumlah *cell* sehingga tidak diperlukan waktu yang terlalu lama, akan tetapi simulasi kurang akurat.

g. *Green-Gauss Note Based*

*Green-gauss cell based* digunakan untuk perhitungan berdasarkan jumlah note dengan menggunakan rata-rata dalam *cell* yang mendefinisikan simpul tersebut.

h. *Body Force Weighted*

*Body force weighted* digunakan ketika gaya beban (*body force*) tinggi. Misalnya pada kasus konveksi bebas dengan bilangan *Raleigh* yang besar, aliran dengan pusaran yang tinggi.

i. *First Order Upwind*

*First order upwind* digunakan pada skema interpolasi yang paling ringan dan cepat menghasilkan konvergen tetapi ketelitian orde satu.

j. PRESTO!

PRESTO digunakan pada aliran dengan pusaran yang tinggi, aliran yang melibatkan media berpori, aliran dalam saluran tertutup.

k. *Second Order Upwind*

*Second order upwind* diaplikasikan untuk *mesh tri/tet* dimana arah alirannya tidak sejajar dengan *mesh*, tetapi metode interpolasi yang digunakan rumit dan lebih lambat mencepai konvergen. *Secod order upwind* menggunakan persamaan yang lebih teliti hingga orde dua.

1. *Quadratic Upwind Interpolation (QUICK)*

QUICK diaplikasikan untuk *mesh quad/hex* dan *hybrid*, namun jangan digunakan untuk elemen *mesh tri*, dengan aliran fluida yang berputar. QUICK memiliki ketelitian mencapai orde tiga pada ukuran *mesh* yang seragam.

10. Mengatur nilai *Under Relaxation Factor (URT)*

*Under Relaxation Factor (URT)* digunakan untuk mengatur besar kecilnya suatu batasan atau toleransi untuk mengatur suatu *variable* seperti energi, momentum, kecepatan, viskositas, dan lain-lain. Pengatur URT bertujuan untuk meminimalisir peluang terjadinya *error* dengan memaksimalkan toleransi saat akan memulai simulasi.

11. Menetapkan metode *initialization* yang ingin digunakan

Inisialisasi adalah proses memasukan kondisi awal sebelum simulasi dijalankan. Terdapat dua jenis metode inisialisasi yang tersedia yaitu *standard initialization* dan *hybrid initialization*.

a. *Hybrid initialization*

*Hybrid initialization* digunakan untuk memberikan perhitungan yang cepat dari suatu aliran dengan metode yang ada dan menyelesaikan persamaan *laplace* untuk menentukan bidang kecepatan dan tekanan. Seluruh *variable* lainnya, seperti suhu, turbulensi, jenis fraksi, volume fraksi dihitung secara otomatis berdasarkan nilai rata-rata domain atau menggunakan metode interpolasi.

b. *Standard initialization*

*Standard initialization* digunakan berdasarkan kondisi batas “*compute from*” sehingga secara otomatis mengisi nilai inisialisasi dengan nilai-nilai yang sudah ditentukan pada batas *inlet* dan *outlet*.

#### 12. Memasukan jumlah iterisasi

Jumlah iterisasi yang akan dilakukan tergantung pada kerumitan suatu model, jika model tersebut lebih kompleks, maka semakin besar iterisasi yang diperlukan agar hasilnya konvergen.

#### 13. Mengatur jumlah kalkulasi

Jumlah kalkulasi tergantung dari kerumitannya, semakin rumit suatu kasus maka jumlah *time-step* semakin kecil, sedangkan jumlah iterasi diperbesar karena sistem akan menghitung model tersebut setiap 1 (satu) *time-step* sebanyak jumlah iterasi yang telah dimasukkan, semakin banyak perhitungan dalam 1 (satu) *time-step* maka hasil yang didapat akan *converged*.

#### 2.2.8.2 Processing

*Processing* merupakan proses kedua pada ANSYS Fluent, pada tahap ini dilakukan *Run Calculation* yaitu Memberikan perintah pada sistem untuk memulai melaksanakan perhitungan atau simulasi.

#### 2.2.8.3 Post processing

*Post processing* merupakan tahap terakhir pada proses CFD. Hasil pada proses ini akan menghasilkan proses perhitungan baik berupa kontur tampilan grafis maupun nilai dari hasil perhitungan yang diinginkan seperti *mesh*, *contour*, *vector*, dan *pathline*

#### 2.2.9. Asumsi Pendekatan (Boussinesq)

Dalam penentuan asumsi dalam metode numerik tidak pernah lepas dari pengaplikasiannya. Kasus pelelehan dan pembekuan di ANSYS Fluent asumsi sifat termal PCM bisa didekati dengan 3 (tiga) model yaitu *boussinesq*, *temperature-dependent* dan *phase-dependent*. Asumsi *boussinesq* merupakan asumsi permodelan PCM yang memiliki densitas yang dianggap konstan, akan tetapi densitas yang masuk dalam persamaan aritmatik dalam kondisi *density liquid* dan

*density solid*. Asumsi *temperatur-dependent* digunakan untuk mendefinisikan sifat termal PCM yang tergantung dalam temperatur.

Penelitian yang dilakukan Rosler dkk (2011) membuat permodelan *weigh function* untuk mengakomodasi asumsi *phase-dependent*. Permodelan densitas PCM dimodelkan ke dalam bentuk persamaan 2.13.

$$\rho = \gamma\rho_l + (1 - \gamma)\rho_s \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan :

$\rho$  = densitas (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_l$  = densitas *liquid* (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_s$  = densitas *solid* (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma$  = *liquid fraction*

#### **2.2.10. User Define Function (UDF)**

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa asumsi untuk sifat termal PCM ada tiga. Dari ketiga asumsi tersebut, dua diantaranya : *temperature-dependent* dan *phase-dependent* perlu pendefinisian lebih lanjut, dikarenakan pada Fluent asumsi tersebut tidak disediakan secara *default*. Sehingga perlu dilakukan pembuatan *user define function* (UDF) sebagaimana terlampir pada lampiran 2 untuk asumsi *phase-dependent*. Pendefinisian UDF terdiri dari tiga bagian yaitu nama UDF yang berguna saat proses pemanggilan, pendefinisian variabel dan pendefinisian program yang merupakan penjabaran algoritma dari UDF. Setelah pembuatan file UDF selesai, file harus di-*compile* dalam format C. Terdapat tiga jenis pemanggilan UDF yaitu *compile*, *interpreted* dan *hooking up*. Pada umumnya yang sering digunakan dalam pemanggilan UDF yaitu *compile* dan *interpreted*.