

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian nanofluid yang direkayasa dengan menambahkan tembaga fasa-nano ke dalam HTF konvensional untuk menghasilkan kelas baru HTF dilakukan oleh Choi dan Eastman (1995). Hasil dari penelitian ini yang berupa konduktivitas termal yang diharapkan mampu dibandingkan dengan HTF yang digunakan saat ini. Hasil yang diharapkan yaitu berupa perbandingan konduktivitas termal sebelum dan setelah penambahan fasa-nano. Hasil dari penelitian dapat meningkatkan nilai dari konduktivitas termal dan mampu mengurangi daya yang dibutuhkan pada saat pertukaran panas secara signifikan. Sehingga batasan utama konduktivitas termal yang rendah dalam pengembangan energi-efektif HTF dapat diatasi.

Xuan dan Li (1999) melakukan sebuah penelitian peningkatan transfer panas dari fluida nano dengan mempersiapkan beberapa sampel fluida nano yang dibuat dengan mencampurkan dengan bubuk fasa-nano dengan fluida dasar, yang akan mengungkapkan kemungkinan dari aplikasi praktis fluida-nano. Fluida nano menunjukkan potensi besar pada peningkatan proses transfer panas. Fraksi volume, bentuk, dimensi dan propertis dari partikel nano mempengaruhi konduktivitas termal dari fluida nano. Metode *hotwire* digunakan untuk mengukur konduktivitas dari fluida-nano. Pengukuran menunjukkan bahwa konduktivitas termal dari fluida nano meningkat dengan fraksi volume dari partikel ultra-fine.

Penelitian penggunaan nanomaterial pada fluida untuk meningkatkan perpindahan panas secara konveksi dilakukan oleh Xiang-Qi (2007). Perpindahan panas pada penelitian ini ditingkatkan dengan cara mengubah laju geometri serta meningkatkan konduktivitas termal fluida tersebut. Salah satu bentuk pencampuran nanomaterial pada fluida untuk peningkatan konduktivitas termal adalah pencampuran nanomaterial jenis tembaga dengan fluida yang digunakan air, minyak dan oli.

Alomair (2016) melakukan penelitian mengenai campuran *paraffin wax* dengan nanomaterial aluminium oksida dan campuran *paraffin wax* dengan nanomaterial

CuO atau *copper oxide*. Penelitian tersebut menggunakan *paraffin wax* tipe RT-18 dan nanomaterial berukuran 50 nm. Hasil dari penelitian tersebut mendapati bahwa pencampuran aluminium oksida dengan *paraffin wax* akan membuat laju pelelehan campuran akan menjadi lebih lambat bila dibanding laju pelelehan campuran *copper oxide* dengan *paraffin wax*.

Penelitian yang dilakukan Lin & Al Kayiem (2016) juga merupakan pencampuran nanomaterial namun hanya menggunakan campuran tembaga. Pada penelitian ini campuran *paraffin wax* dengan Cu berfungsi sebagai PCM, yang bertujuan untuk menaikkan nilai konduktivitas termal pada tangki TES. Nanomaterial Cu di sini menggunakan ukuran 20 nm dan memiliki beberapa fraksi yaitu 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2% Cu. Hasil setelah penelitian yaitu konduktivitas termal naik sebesar 14.0%, 23.9%, 42.5% dan 46.3% sesuai fraksi terkecil sampai terbesar. Penambahan Cu ternyata mempengaruhi pada tingkat efisien suatu PCM, ketika pengujian fraksi 1% mengalami kenaikan efisiensi sebesar 1.7%.

Schukina dkk (2018) melakukan penelitian mengenai penggunaan nano-encapsulation pada PCM. PCM disini berfungsi sebagai media penyimpanan panas dalam jumlah besar saat fase transisi dan juga untuk meningkatkan efisiensi saat perpindahan panas. Penelitian ini menggunakan nano-encapsulation untuk memberikan perlindungan pada PCM dari lingkungan eksternal dan untuk meningkatkan luas permukaan secara besar yang berguna dalam proses perpindahan panas. Dalam penelitian ini menyoroti tentang teknik enkapsulasi baik PCM organik dan anorganik dengan menggunakan nano-encapsulation dalam ukuran 1 nm.

Kajian yang dilakukan oleh Nadjib dan Suhanan (2014) dengan metode eksperimental terhadap perpindahan kalor yang terjadi pada tanki Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) yang di lengkapi dengan kapsul pipa-banyak (*multitubes*) yang berisikan *phase change material* (PCM). *Paraffin wax* akan diisikan kedalam kapsul-kapsul berbentuk silinder dan disusun secara segaris (*inline*) di dalam tanki. Kolektor matahari dihubungkan ke tanki sebagai sumber kalor. Sistem PATS ini melakukan pengujian charging untuk mengetahui proses pemanasan yang terjadi

pada HTF dan PCM. Hasil selama proses pengujian menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan temperatur yang signifikan antara HTF dan PCM

Nadjib dkk (2015) melakukan studi ekperimental penyimpanan energi termal pada tangki pemanas air tenaga surya dengan sebuah tangki pemanas air tenaga surya yang didalamnya berisikan phase change material yang berupa *paraffin wax* di masukan dalam sekumpulan kapsul berbentuk silinder yang susunanya horisontal segaris. Kolektor sebagai sumber kalor bersama tanki dihadapkan ke matahari saat proses charging/pemanasan. Kemudian temperatur HTF dan PCM di amati selama proses charging. Dari hasil data temperatur dapat diketahui kapasitas energi penyimpanan di dalam tanki. Hasil Pengujian menunjukkan penyimpanan energi termal total yang didapat selamat proses charging yang berdurasi 340 menit adalah PATS terbesar 4.5 MJ dan peranan dari penggunaan PCM adalah 44.28% dan energi tersimpan kumulatif 3.97 MJ. Perbedaan antara kapasitas penyimpanan energi dengan energi tersimpan kumulatif merupakan energi yang dilepas ke lingkungan. Berdasarkan hasil itu dapat diambil kesimpulan bahwa PCM telah mampu menyimpan energi termal di dalam tanki. Isolasi dalam tanki perlu mendapat perhatian agar rugi rugi termal ke lingkungan dapat diminimalisir.

Penelitian tentang pemanas air tenaga surya yang menggunakan berbagai jenis macam PCM dilakukan oleh Sharif dkk (2014). Salah satu dari jenis PCM itu adalah *paraffin wax*. *Paraffin wax* ini kemudian dimasukan ke dalam kapsul yang terbuat dari pipa tembaga yang berdiameter 80 mm. PCM akan dipasang kemudian dibandingkan pemakainnya pada PATS dengan *integrated collector storage (ICS)*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PATS memiliki rata-rata efisiensi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *intergrated collector storage*. Hasil yang maksimal ini didapat karena pemilihan material PCM dengan *melting point* yang tidak jauh berbeda dengan unuk kerja alat.

Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui perilaku termal penggunaan *paraffin wax* di dalam tangki pemanas air tenaga matahari jenis *thermosyphon* yang dilakukan oleh Nadjib (2016). Penelitian ini menggunakan sekumpulan pipa yang berisi *paraffin wax* yang dimasukkan ke dalam tangki dan air dalam penelitian ini

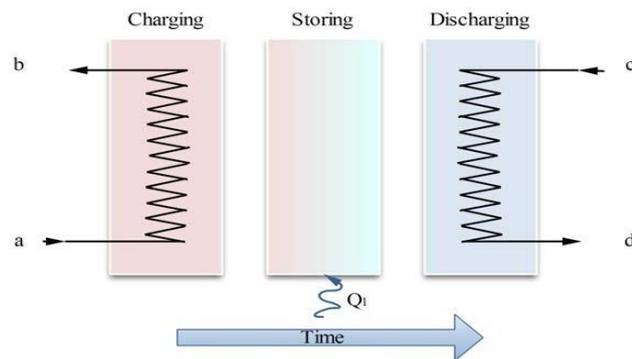
digunakan sebagai SHS dan HTF. Pengambilan data selama proses charging setiap 30 detik. Data yang diambil ialah temperatur HTF, PCM dan Intensitas matahari yang kemudian dianalisis. Hasilnya PCM memberikan kontribusi signifikan terhadap kapasitas penyimpanan energi. Efisiensi dari kolektor menjadi optimal karena PCM mampu mempertahankan stratifikasi termal hingga akhir proses charging. PCM ini juga mampu mengendalikan efisiensi pengumpulan energi hingga intensitas matahari berkurang. Alat penukar kalor ini juga cukup efektif karena kecepatan pemanasan rata rata antara HTF dan PCM tidak berbeda secara signifikan.

## 2.2.Landasan Teori

### 2.2.1. Thermal Energy Storage

Thermal Energy Storage (TES) didefinisikan sebagai alat penyimpanan sementara energi termal dalam bentuk zat panas ataupun dingin. Kebutuhan energi dapat bervariasi pada kebutuhan harian, mingguan ataupun musiman. Dengan kebutuhan yang bervariasi ini sistem TES dapat menjadi solusi karena dapat mengatasi sistem ini dapat menyimpan energi dan mengeluarkan pada saat waktu yang dibutuhkan. Sistem TES memiliki potensi untuk meningkatkan penggunaan peralatan energi termal secara efektif. Pemilihan sistem TES bergantung pada banyak faktor termasuk durasi penyimpanan, ekonomi, Persyaratan suhu dari energi, kapasitas penyimpanan, dan ruang yang tersedia. (SOCACIU, 2012)

Keseluruhan sistem TES yang lengkap meliputi 3 Proses: Charging, Storing, dan Discharging. Dalam beberapa kasus, langkah-langkah dari proses ini dapat terjadi secara bersamaan (misalnya pengisian dibarengi dengan penyimpanan) dan setiap langkah dapat terjadi lebih dari satu kali dalam setiap siklus penyimpanan.

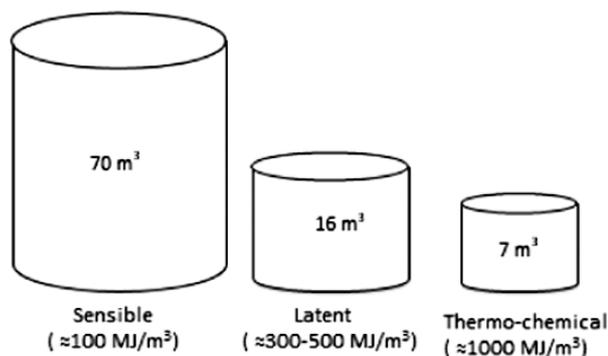


**Gambar 2.1** Tiga proses dalam sistem TES

Pada Gambar 2.1 diilustrasikan siklus penyimpanan sederhana dimana ada 3 proses. Dimana Panas  $Q_1$  akan masuk dan bernilai positif. Jika Panas akan dikeluarkan maka  $Q_1$  akan negatif. Keseluruhan dari sistem TES ini dapat dikelompokkan menjadi 3 macam, yaitu sensible heat storage (SHS), Latent Heat Storage (LHS), dan thermo-chemical storage.

#### 2.2.1.1. Sensibel Heat Storage

Sensibel heat storage (SHS) merupakan salah satu metode dari TES yang menggunakan dua macam media penyimpanan panas yaitu padat dan cair. Contoh pada media padat adalah logam sedangkan pada media cair dapat seperti air, minyak dan molten salts. Sistem ini memiliki kelebihan yang signifikan pada segi pembuatannya yang relatif murah dan mudah didapat. Namun sistem ini juga memiliki kekurangan yaitu mempunyai heat loss yang besar serta densitas yang rendah diantara sistem TES yang lain. Perbandingan dari segi energi serta ukuran dapat dilihat pada gambar 2.2 (Lefebvre & Tezel, 2017)



**Gambar 2.2** Perbandingan dari Volume yang Dibutuhkan

Total dari energi pada sistem SHS ini dapat dicari dengan rumus persamaan 2.1 (sharma, 2009)

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mcp \, dT = mc_{ap} (T_f - T_i) = \rho V c_{ap} (T_f - T_i) \quad (2.2)$$

Dengan,

- temperatur awal ( $T_i$ ) dalam satuan  $^{\circ}\text{C}$
- temperatur akhir ( $T_f$ ) dalam satuan  $^{\circ}\text{C}$
- massa material penyimpan ( $m$ ) dalam satuan kg
- massa jenis ( $\rho$ ) dalam satuan  $\text{kg}/\text{m}^3$
- kalor jenis rata-rata material penyimpanan saat proses ( $C_{ap}$ ) dalam satuan ( $\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )
- volume material ( $V$ ) dalam satuan  $\text{m}^3$ .

#### 2.2.1.2. Latent Heat Storage

Latent Heat Storage adalah salah satu bentuk aplikasi sistem TES yang menyimpan energi dalam bentuk energi latent. Phase change material (PCM) merupakan bahan penyimpanan panas laten. Ketika suhu naik maka ikatan dalam PCM terpecah yang mengubah material menjadi berubah fasa dari padat menjadi cair (seperti halnya PCM padat-cair). Perubahan fase sendiri adalah proses endotermik yang menyebabkan pcm itu akan menyerap panas. Panas yang disimpan selama proses peleburan ini dinamakan panas laten (Medved dkk, 2010). Latent heat storage ini memiliki dua keunggulan utama, yaitu

- a) Dapat menyimpan panas yang besar dengan perubahan suhu yang kecil dan karenanya memiliki kepadatan penyimpanan yang tinggi.
- b) Karena perubahan fasa pada suhu konstan membutuhkan waktu untuk selesai, hal ini dapat untuk menghaluskan variasi suhu.

#### 2.2.2. Phase Change Material

Perbedaan paling esensial antara PCM dan media penyimpanan panas konvensional seperti air atau batuan adalah jarak suhu kerja dari titik leleh. Pada dasarnya, air merupakan PCM. Contohnya adalah penggunaan es dalam mengawetkan makanan. Namun, karena titik leleh air adalah  $0^{\circ}\text{C}$ , sehingga tidak memungkinkan untuk digunakan sebagai PCM untuk aplikasi penyimpanan panas di mana kisaran suhu kerja yang baik di atas  $0^{\circ}\text{C}$ . Kasus di atas merupakan contoh

sehari hari yang menunjukkan seberapa banyak panas mampu diserap dalam perubahan fasa, peleburan es ke air membutuhkan energi yang sama seperti pemanasan air yang dari 0 ke 80 derajat (Hasenohrl, 2009)

Material suatu PCM dikatakan baik sebagai media penyimpanan panas apabila memiliki kalor laten yang tinggi. PCM sendiri memiliki beberapa fungsi salah satunya yaitu digunakan pada pengaturan suhu ruangan yang dimana PCM tersebut berfungsi sebagai sistem pemanas dibawah lantai. Fungsi lainnya yaitu sebagai pemanas air tenaga surya (PATS), PCM berfungsi sebagai media penyimpanan panas yang efektif dalam alat tersebut. Material PCM yang digunakan untuk PATS pada umumnya yaitu *paraffin wax*, karena mempunyai sifat densitas yang tinggi ( $\sim 200$  kJ/kg), konduktivitas termalnya rendah ( $\sim 0,2$  W/m. $^{\circ}$ C) dan sifat termalnya stabil di bawah  $500^{\circ}$ C (Nadjib dkk, 2015).

PCM dapat dikelompokkan menjadi 4 kategori yang dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1. Grup dari *Phase Change Material* (Regin dkk, 2007)

Zat Organik	Zat An-organik	Asam Lemak	Komersial PCM
Paraffin C <sub>13</sub>	Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ■ 6H <sub>2</sub> O	Capric-lauric acid (45-55%)	RT25
1-Dodecanol	CaCl <sub>2</sub> ■ 6H <sub>2</sub> O	34% Mistiric acid + 66% Capric acid	STL27
Paraffin C <sub>18</sub>	LiNO <sub>3</sub> ■ 3H <sub>2</sub> O	Vinyl stearate	S27
1-Tetradecanol	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ■ 10H <sub>2</sub> O	Capric acid	RT30
Paraffin C <sub>16-28</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ■ 10H <sub>2</sub> O	Lauric acid	TH29
Paraffin wax	CaBr <sub>2</sub> ■ 6H <sub>2</sub> O	Myristic acid	RT40
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ■ 12H <sub>2</sub> O	Palmitic acid	RT50
	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ■ 6H <sub>2</sub> O	Stearic acid	TH58
	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ■ 7H <sub>2</sub> O		RT65
	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ■ 4H <sub>2</sub> O		
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ■ 7H <sub>2</sub> O		
	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ■ 5H <sub>2</sub> O		
	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ■ 2H <sub>2</sub> O		

Material yang dapat dikategorikan sebagai PCM apabila memiliki karakteristik yang bisa dilihat pada tabel 2.2 berikut

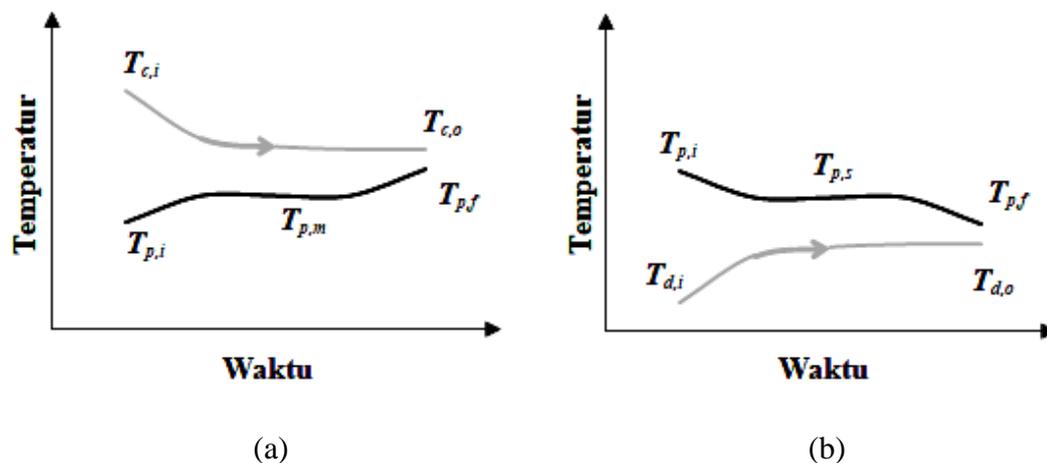
Tabel 2.2. Karakteristik Utama yang Diinginkan dari PCM

Sifat termal	Sifat fisis	Sifat kimia	Faktor ekonomi
Temperaturuf perubahan fase dari material sesuai temp kerja	Kerapatan material tsedang	Memiliki sifat kimia yang stabil	Tersedia banyak
Memiliki <i>laten heat</i> dan <i>spesific heat</i> yang tinggi	Kerapatan rendah ketika berubah fase	Tidak terjadi dekomposisi	Tidak mahal
Konduktifitas termal tinggi	Tidak terjadi <i>supercooling</i> ketika dingin	Tidak beracun, tidak mudah terbakar dan tidak mudah meledak	
		Cocok dengan kapsul	

### 2.2.3 Charging dan Discharging

Proses charging adalah suatu proses penyerapan kalor dari sumber panas yang dimiliki oleh HTF ke PCM yang berada di dalam TES. Proses ini berawal dari temperatur rendah ke temperature tinggi. Selama proses ini PCM akan menyerap energi panas sampai mengalami perubahan fasa dari padat menjadi cair. Ketika proses *charging* selesai, maka diharapkan PCM yang akan meleleh dengan sempurna dan temperatur PCM akan dengan HTF.

Sedangkan proses *discharging* adalah proses yang berkebalikan dengan *charging* yaitu pelepasan kalor yang telah tersimpan pada PCM saat proses *charging*. Sehingga proses ini berawal dari temperatur tinggi ke temperatur yang rendah dan terjadi perubahan fasa dari cair menjadi padat atau *solidification*. Selama proses ini temperatur PCM akan turun dan berhenti ketika temperatur PCM sama dengan temperature HTF. Grafik perubahan temperatur pada proses *charging* dan proses *discharging* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Grafik temperatur pada LHS

(a) proses *charging*

(b) proses *discharging*