

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang Solar Water Heater telah banyak dilakukan oleh peneliti guna mengetahui hasil perpindahan kalor. Penelitian terdahulu tentang perpindahan kalor pada tangki TES sistem PATS *thermosyphon* diteliti oleh (Nadjib dan Suhanan, 2014). Penelitian tersebut mengkaji tentang analisis evolusi temperatur air dan *paraffin wax* RT52 selama proses *charging*. Studi kasus tersebut bertujuan untuk mengetahui perpindahan kalor dari *heat transfer fluid* (HTF) ke *phase change material* (PCM). PCM *paraffin wax* diketahui memiliki efisiensi *thermal* dan massa *paraffin wax* yang melebur pada proses *charging*, serta memiliki efisiensi *thermal* saat proses *discharging* (Jufriзал, dkk, 2014). Hasil pengujian pada proses *charging* dapat disimpulkan bahwa massa *paraffin wax* yang melebur terbanyak sebesar 18,81 kg dan efisiensi *thermal* tertinggi sebesar 44,28%. Sedangkan pada saat proses *discharging* volume air panas terbanyak diperoleh 40 liter untuk temperatur minimum 35°C dan efisiensi *thermal* tertinggi sebesar 46,81%.

Penelitian terkait dengan sistem PATS/ PATM *thermoophon* dengan penggunaan PCM *paraffin wax* tidak hanya mengetahui hasil efisiensi *thermal* tetapi dapat juga mengetahui hasil penyimpanan energi *thermal* pada air dalam tangki. Hal tersebut diteliti oleh Najib, M (2016) dalam penelitiannya untuk menyimpan energi *thermal* digunakan material *latent heat storage* (LHS) yang disebut *phase change material* (PCM) pada pemanas air tenaga surya (PATS) yang umumnya menggunakan air. Untuk meningkatkan densitas energi sistem digunakan material LHS. Tangki *thermal energy storage* (TES) berisi sekumpulan pipa kapsul yang diisi *paraffin wax*. Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa *paraffin wax* telah berfungsi sebagai penyimpanan energi *thermal* bersama air didalam tangki PATM jenis *thermosyphon*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sharif dkk, 2015) menggunakan berbagai jenis PCM, bentuk dan bahan kapsul yang digunakan untuk membungkus PCM. Salah satu jenis PCM yang digunakan adalah *paraffin wax* dengan kapsul high

density polyethylene berbentuk bola. Selain itu peneliti juga mengungkapkan bahwa pemilihan material PCM dengan *specific melting point* yang hampir sama dengan unjuk kerja alat akan sangat membantu dalam sistem PATS untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Khan dkk, (2011) membandingkan 2 tipe LHS sebagai PCM yaitu *paraffin wax* dan *salt hydrates*. Setelah peneliti melakukan *thermal cycles* atau *melting-cooling*, *paraffin wax* mempunyai *properties* yang tidak berubah sedangkan *salt hydrates* mengalami fase *segregation* dan *supercooling*. Berdasarkan penelitian tersebut, peneliti menyimpulkan bahwa *paraffin wax* mempunyai *thermal* dan *chemical stability* yang lebih baik daripada *salt hydrates*.

Peneliti Murray dan Groulx (2014) melakukan penelitian tentang LHS. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik LHS, terutama pada tahap perubahan fase dari padat menjadi cair dan sebaliknya. Penelitian ini menggunakan tangki vertikal dan *dodecanoid acid* sebagai LHS. Hasilnya, peneliti menemukan adanya konveksi natural yang signifikan pada saat fase *melting* dan *melted* dalam proses *charging*, sedangkan saat *solidification* konveksi natural yang terjadi kecil sehingga dapat diabaikan. Kecepatan laju aliran dalam proses *charging* dapat mempengaruhi proses *melting*. Proses *discharging* semakin cepat laju aliran, maka proses *melting* akan lebih cepat. Sistem ini memiliki kelemahan pada proses *charging* dan *discharging* memerlukan waktu yang lama. Peneliti menyarankan untuk memperbesar luas permukaan yang akan digunakan sebagai perpindahan panas dari HTF ke PCM dan sebaliknya.

Najib, M dkk (2015) melakukan penelitian bahwa penyimpanan energi *thermal* pada tangki pemanas air tenaga surya (PATS) dengan penggunaan kapsul berbentuk silinder didalam tangki yang berisi material PCM (*paraffin wax*). Penelitian ini menggunakan air sebagai HTF dan *paraffin wax* sebagai PCM. Tangki yang digunakan memiliki volume 31,37 dimana posisi letak tangka berada pada atas kolektor. Kolektor dipasang dengan kemiringan 15°. Terdapat 16 buah kapsul berisi *parffin wax* yang tersusun secara segaris didalam tangki. Sistem PATS dihadapkan mengarah ke sinar matahari sehingga akan terjadi proses *charging* yang akan menaikkan temperatur HTF dan PCM dari hasil transfer kalor dari air kolektor.

Peneliti mengatakan bahwa kapasitas penyimpanan energi termal total sebesar 4,8 MJ dengan kontribusi penggunaan PCM adalah 44,28% dalam waktu 340 menit pada proses charging. Hal ini terjadi, karena terjadi heat loss saat proses charging. Maka dari itu, perlu diperhatikan pada sistem isolasi PATS sehingga dapat meminimalisir heat loss yang terjadi.

Penelitian tentang karakteristik dinamis dari sistem penyimpanan panas matahari pada proses discharging menggunakan kapsul – kapsul berbentuk bola yang berisi paraffin (PCM) yang diteliti oleh Shuangmao, dkk (2011). Penelitian ini disimpulkan bahwa (1) laju pelepasan panas sangat tinggi dan akan berkurang secara cepat ketika mendekati cooling stage, serta laju pelepasan panas akan stabil pada solidification cooling stage hingga pada solid cooling stage. (2) Waktu yang diperlukan untuk pematatan secara sempurna akan berkurang ketika laju aliran HTF meningkat, tetapi efek tidak begitu jelas jika laju aliran HTF melebihi 13 kg/menit. (3) Pengaruh dari rembesan pada packed bed tidak terlalu berpengaruh secara signifikan jika dibandingkan dengan temperature inlet HTF dan laju aliran.

Farid, M dkk (2004) melakukan penelitian tentang penyimpanan energi perubahan fasa. Latent heat storage (LHS) adalah salah satu cara yang paling efisien untuk menyimpan energi panas. Metode LHS memberikan kepadatan penyimpanan yang tinggi, dengan perbedaan suhu yang lebih kecil antara menyimpan dan melepaskan panas. Terdapat beberapa contoh material perubahan fasa (PCM) yang meleleh dan mengeras pada berbagai suhu yakni paraffin dan garam terhidrasi. Paraffin memiliki kepadatan penyimpanan energi termal sedang dan konduktivitas termal yang rendah, sedangkan garam terhidrasi memiliki kepadatan penyimpanan energi dan konduktivitas termal yang lebih tinggi.

Studi eksperimental dan numerik penyimpanan PCM annular dilakukan oleh Longeon, M dkk (2013) yang mengemukakan bahwa sistem penyimpanan energi termal laten (TES) sangat berpotensi dilakukan dalam sistem *Concentrated Solar Power* (CSP). Hal ini karena peningkatan kepadatan penyimpanan dan pelepasan temperatur energi yang konstan memungkinkan sebagai desain penukar kalor yang baik serta dapat menyederhanakan pengelolaan sistem. Penukar panas shell dan tabung merupakan teknologi dengan biaya yang murah. Fenomena

perubahan fasa terjadi ketika pelelehan dan pemadatan pada PCM. PCM yang digunakan yaitu *paraffin wax* RT35. Pengujian dan visualisasi dibuat untuk menganalisis pengaruh fluida perpindahan panas (HTF) yang terjadi pada sistem. Hasil pengujian eksperimental ini dimodelkan menggunakan software CFD (computational fluid dynamics).

Bellan, dkk (2014) melakukan pengkajian secara eksperimental tentang penyimpanan energi termal dengan menggunakan kapsul PCM berbentuk bola. Hasil dari pengujian ini, peneliti menggunakan sodium nitrat sebagai PCM dan sintetik temperatur tinggi (*Therminol 66*) sebagai HTF. Aliran dari HTF dianggap simetris dengan sumbu axis sehingga aliran di dalam tangki hanya 2 dimensi. Kesimpulan dari penilaian ini bahwa (1) waktu yang diperlukan PCM dalam proses *charging* lebih cepat daripada *discharging*, (2) kecepatan *charging* dan *discharging* akan lebih cepat jika menggunakan kapsul yang lebih kecil, (3) apabila *stefan number* (*st*) meningkat maka *Constan Melt Temperatur Zone* (CMTZ) dan *Heat Exchange Zone* (HEZ) akan menurun. Hal ini dapat meningkatkan waktu yang diperlukan dalam *discharging* dan penggunaan total.

Tabel 2. 1 Ringkasan Tinjauan Pustaka

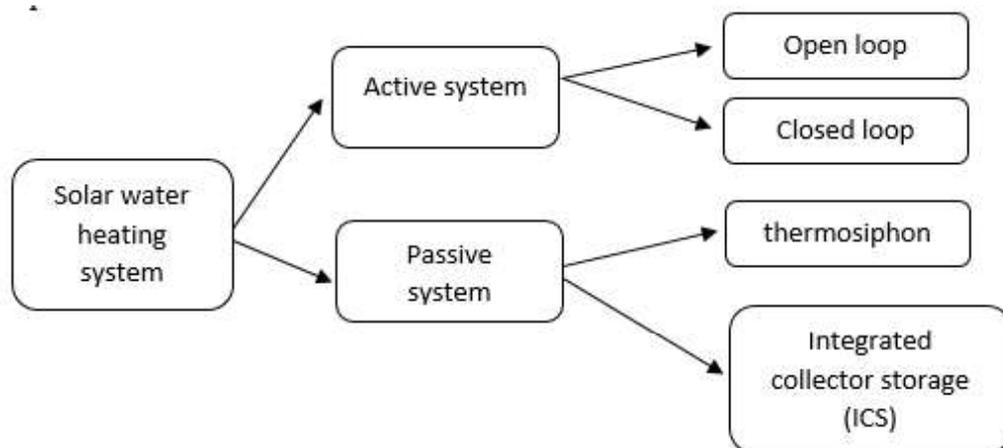
Nama	Tujuan	Hasil
Jufrizal, dkk. (2014)	Untuk mengetahui efisiensi termal dan massa <i>paraffin wax</i> yang melebur pada proses <i>charging</i> .	Hasil pengujian pada proses <i>charging</i> dapat disimpulkan bahwa massa parafin wax yang melebur terbanyak adalah 18,81 kg dan efisiensi termal tertinggi diperoleh 44,28%.
Nadjib dan Suhanan (2014)	Melakukan simulasi dengan <i>ansys fluent 17</i> tentang perpindahan kalor pada tangki TES dengan sistem PATS <i>thermosyphon</i> .	Prosen pelelehan PCM tidak terjadi secara isothermal. Transfer kalor ke PCM saat awal <i>charging</i> terjadi secara konduksi dan berlangsung cepat.

Nama	Tujuan	Hasil
Nadjib M, (2016)	Menyelidiki perilaku termal penggunaan <i>paraffin wax</i> di dalam tangki PATM jenis <i>thermosyphon</i> .	<i>Paraffin wax</i> telah berfungsi sebagai penyimpanan energi thermal bersama air didalam tangki PATM jenis <i>thermosyphon</i> .
Nadjib, M,. dkk, (2015)	Meneliti penggunaan tangki PATS yang didalamnya terdapat kapsul dan berisi PCM/ <i>paraffin wax</i> .	PCM mampu menyimpan energi termal di dalam tangki.
Farid, M dkk (2004)	Meneliti tentang penyimpanan energi perubahan fasa	Latent heat storage (LHS) adalah salah satu cara yang paling efisien untuk menyimpan energi panas.
Shungmao, dkk (2011)	Meneliti tentang karakteristik dinamis dari sistem penyimpanan panas matahari pada proses <i>discharging</i> dengan kapsul berbentuk bola.	Laju pelepasan memiliki panas tinggi, waktu yang diperlukan untuk pemadatan sempurna akan berkurang ketika laju aliran HTF meningkat, dan rembesan pada packed tidak berpengaruh.
Longeon, dkk. (2013)	Menguji menganalisis pengaruh fluida perpindahan panas (HTF).	Hasil pengujian menggunakan dimodelkan menggunakan <i>software</i> CFD.
Khan, dkk. (2011)	Membandingkan 2 tipe LHS yaitu <i>paraffin wax</i> dan <i>salt hydrates</i> .	<i>Paraffin wax</i> mempunyai <i>thermal</i> dan <i>chemical stability</i> yang lebih baik daripada <i>salt hydrates</i>
Bellan, dkk. (2014)	Sistem penyimpanan energi termal dengan kapsul berisi PCM berbentuk bola.	Waktu yang diperlukan PCM dalam proses <i>charging</i> lebih cepat daripada <i>discharging</i> .
Murray dan Groulx, (2014)	Bertujuan mengetahui karakteristik LHS, terutama saat perubahan fasa.	Adanya konveksi natural yang signifikan pada saat fasa melting dan melted dalam proses <i>charging</i> .

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi *Solar Water Heater (SWH)*/ Pemanas Air Tenaga Surya.

Sistem pemanas air tenaga surya (PATS) merupakan salah satu aplikasi dari pemanfaatan energi matahari dengan menggunakan kolektor untuk menyerap energi yang dipancarkan matahari. PATS memiliki bermacam-macam bentuk berdasarkan cara kerjanya, tetapi PATS memiliki 3 komponen utama, yaitu kolektor, tangki, dan sistem perpipaan. Sistem perpipaan terdiri dari pipa-pipa penghubung yang berfungsi sebagai penghubung antar kolektor surya dan penghubung antara tangki dengan kolektor serta penyambung pipa agar pipa-pipa penghubung dapat tersambung ke kolektor surya ataupun tangki. Adapun Sistem dari *Solar Water Heater* yang terdapat pada Gambar 2.1.

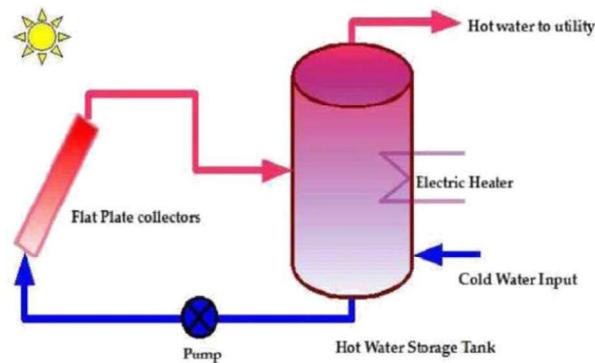


Gambar 2. 1. Sistem PATS (Jamar, 2016)

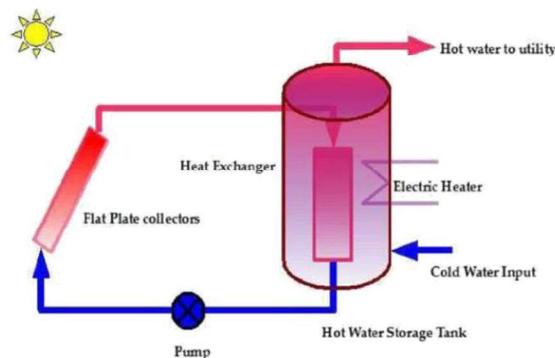
2.2.2 *Solar Water Heater (SWH)* / Pemanas Air Tenaga Surya Aktif

Penjelasan Jamar, dkk (2016) mengenai pemanas air tenaga surya dengan menggunakan sistem aktif adalah penggunaan energi thermal pada HTF (*heat transfer fluida*) dengan menggunakan pompa dan perangkat pengontrol otomatis. Hal ini mendasari penggunaan sistem pemanas air tenaga surya yang masih memerlukan energi listrik. Sistem aktif terbagi atas 2 jenis, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup yang masing – masing memiliki perbedaan. Sistem terbuka merupakan sistem yang tidak memerlukan perangkat pendukung atau alat penukar kalor saat pendistribusiannya, sedangkan sistem tertutup merupakan sistem yang

masih memerlukan perangkat pendukung atau alat penukar kalor dalam pendistribusiannya. Berikut skema sistem aktif dan sistem tertutup ditunjukkan pada Gambar 2.2 point (a) dan point (b).



(a)



(b)

Gambar 2. 2. PATS sistem aktif, (a) sistem terbuka, (b) sistem tertutup
(Sumber: Dwivedi, 2009)

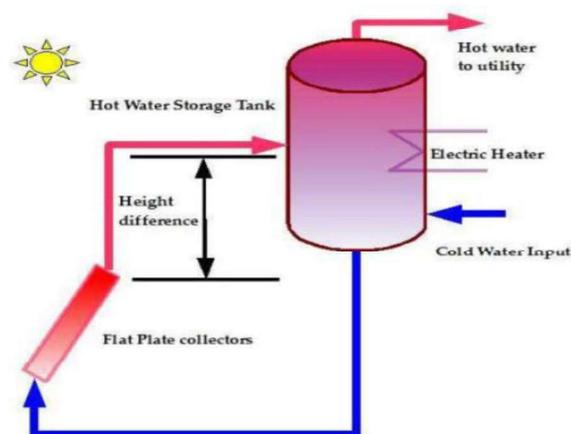
2.2.3 Solar Water Heater (SWH) / Pemanas Air Tenaga Surya Pasif (sistem termosifon)

Pemanas air tenaga surya seringkali dimanfaatkan di dalam ruang lingkup rumah tangga dengan menggunakan sistem termosifon. Sistem ini merupakan sistem yang mengandalkan perbedaan massa jenis fluida sehingga alat untuk mengalirkan fluida seperti pompa tidak diperlukan. Sistem termosifon terdapat sirkulasi fluida yang akan terus terjadi hingga temperatur seluruh sistem sama (Jansen, 1995). Dwivedi, (2009) menjelaskan bahwa sistem PATS merupakan

sistem yang menggunakan konveksi natural sebagai penggerak HTF. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengurangan *fluid* densitas yang dipanaskan yang menyebabkan HTF di kolektor dapat naik ke dalam tangki serta HTF di tangki dapat turun ke kolektor. Sistem pasif memiliki keunggulan, yaitu sistem sirkulasi HTF tidak memerlukan perawatan yang rumit karena tidak adanya pompa.

a. *Thermoshypon*

Sistem thermoshypon atau thermosyphoning dapat terjadi jika HTF (*heat transfer fluid*) yang berada dalam tangki mengembang. Hal itu disebabkan karena densitas mengecil akibat dari pemanasan sehingga dapat mendorong HTF untuk naik ke dalam tangki. Setelah itu HTF yang terdapat pada kolektor akan masuk ke dalam tangki sehingga akan mendorong HTF di dalam tangki untuk turun ke kolektor. Proses thermosyphoning akan terus berlanjut hingga temperatur pada HTF bersifat sama.



Gambar 2. 3. Sistem thermosipon dengan pemanas tambahan
(Sumber: Dwivedi, 2009)

2.2.4 Definisi Tangki TES (Thermal Energy Storage)

Tangki TES (Thermal Energy Storage) merupakan teknologi untuk menyimpan energi panas dengan memanaskan atau mendinginkan penyimpanan sehingga energi dapat tersimpan dan digunakan untuk aplikasi dan daya pemanasan dan pendinginan generasi. Sistem TES terdiri atas tiga jenis, yaitu

- i. penyimpanan panas sensibel dengan menggunakan media penyimpanan cair atau padat.
- ii. penyimpanan panas laten menggunakan bahan perubahan fase (PCM), dari keadaan padat menjadi keadaan cair.
- iii. penyimpanan termokimia (TCS) menggunakan reaksi kimia untuk menyimpan dan melepaskan energi panas.

TES dapat dikategorikan menjadi 3 tipe, yaitu *latent heat storage* (LHS), *sensible heat storage* (SHS), dan *thermo-chemical storage*. Pada penggunaannya, LHS dan SHS akan mengalami *heat loss* seiring dengan waktu sehingga tidak cocok digunakan sebagai penyimpan energi jangka panjang. Menurut Cabeza, dkk (2011) pengaplikasian sistem TES memiliki tiga siklus yaitu, charging, storage, dan discharging. Charging merupakan proses penyerapan kalor atau pemindahan energi dari HTF ke media penyimpanan energi. Proses *charging* akan terus berlangsung jika media fase belum berubah dan kondisi temperature yang masih rendah. Proses storage yaitu proses penjagaan energi supaya energi yang telah tersimpan akan tetap terjaga dan tidak berkurang dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Kemudian proses discharging yaitu proses pelepasan kalor atau proses pemindahan energi dari media penyimpanan energi ke HTF. Hal ini bertujuan untuk memanfaatkan energi yang telah disimpan.

2.2.5 Sensible Heat Storage

Pada *sensible heat storage* (SHS), energi tersimpan di dalam sistem ditandakan dengan perubahan temperatur pada material penyimpan energi. Berdasarkan aplikasinya, SHS dikategorikan menjadi 2 tipe, yaitu media cair dan media padat. Media cair adalah SHS yang menggunakan zat cair sebagai penyimpan energi seperti air, minyak, dan *molten salts*. Sedangkan media padat adalah SHS yang menggunakan material padat sebagai penyimpan energinya seperti logam. Keunggulan paling umum dari SHS adalah harganya yang murah. Akan tetapi, SHS memiliki *density energy* paling rendah diantara ketiga tipe *storage* seperti terlihat pada Gambar 2.5. Akibatnya SHS memerlukan *volume storage* yang besar. Selain itu, sebagian besar dari perangkat SWH terjadi *heat loss*

yang akan merugikan sebagai penyimpanan energi. Besarnya energi yang tersimpan (dalam *Joule*) dapat dihitung dengan persamaan 2.1 berikut (Sharma, 2009).

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mc_p dT = mc_{ap}(T_f - T_i) = \rho V c_{ap}(T_f - T_i) \quad (2.1)$$

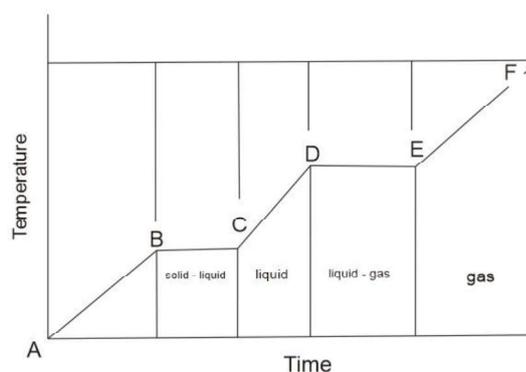
Selisih temperature akhir (T_f) dan temperature awal (T_i) dalam °C; massa material penyimpanan (m) dalam kg; kalor jenis rata – rata material penyimpanan saat proses (c_{ap}) dalam J/kg.°C; massa jenis (ρ) dalam kg/m³ dan volume material (V) dalam m³.

2.2.6 Latent Heat Storage

Latent haet storage (LHS), penyerapan atau pelepasan energi yang terjadi pada sistem merupakan tanda dari perubahan fase dari material penyimpanan energi. Perubahan fase *liquid-solid* mayoritas lebih banyak digunakan sebagai *energy storage* dibandingkan dengan fase *liquid-vapor*. Hal ini disebabkan karena pada fase *liquid-solid* volume yang digunakan lebih sedikit. Berikut grafik perubahan fasa pada suatu zat ditunjukkan pada gambar 2.6 dan jumlah kalor dalam satuan joule terdapat pada persamaan 2.2 (Regin, dkk 2008).

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

Massa material (m) dalam kg; kalor jenis fase padat ($C_{p,s}$), kalor jenis fase cair ($C_{p,l}$) serta kalor jenis fase gas ($C_{p,g}$) dalam kJ/kg. °C; kalor *latent* perubahan padat-cair (L), dan kalor *latent* perubahan cair-gas (L_g) dalam kJ/kg.



Gambar 2. 4. Grafik temperature-waktu pada pemanasan suatu zat (Sumber: Regin, dkk 2008)

2.2.7 Thermo-Chemical Storage

Thermo-chemical storage yaitu teknologi dalam bidang penyimpanan energi termal yang terbaru. *Thermo-chemical storage* menyerap energi termal dengan menggunakan reaksi termokimia. Energi tersimpan melalui *reversible reaction* dan melepaskan ketika reaksi tersebut dibalik. Sistem ini memerlukan *catalyst* karena *thermo-chemical storage* memiliki energi *density* yang tinggi. Hal ini guna melepas energi dan mengontrol reaksi termokimia dan hal-hal yang tidak diinginkan dalam penyimpanan termal.

2.2.8 Phase Change Material

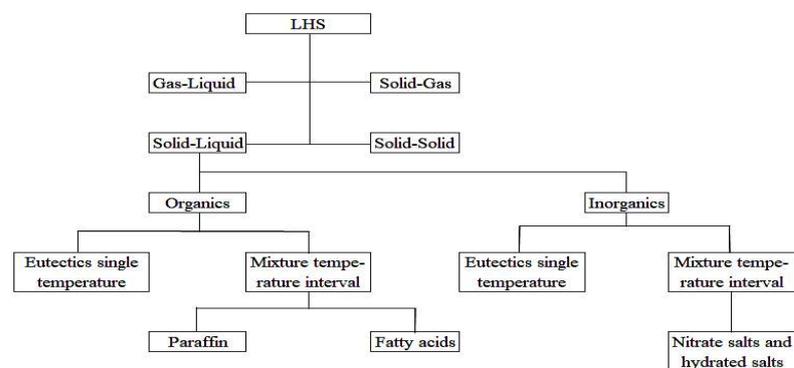
Menurut Marsah, (2014) menjelaskan bahwa *phase change material* (PCM) merupakan material yang memiliki panas dengan fusi yang tinggi. Material ini dapat meleleh dan membeku pada suhu tertentu serta mampu menyimpan dan melepas energi dengan besaran tertentu. PCM menyerap dan melepas panas yang terjadi paada saat perubahan fase padat ke cair atau sebaliknya, jadi material PCM dapat simpulkan sebagai bahan penyimpan panas laten. Material PCM yang digunakan umumnya adalah *paraffin wax* karena *paraffin wax* memiliki sifat fisik yang mampu menyimpan energi cukup besar dengan densitas energi mencapai (~ 200 kJ/kg) dan konduktivitas termal rendah ($\sim 0,2$ W/m. $^{\circ}$ C) dengan *melting point* kisaran antara 8 sampai 106° C serta siklus termalnya mampu bertahan selama 1500 siklus. Oleh sebab itu *paraffin wax* dianggap mampu dalam menyimpan energi yang cukup besar. Material PCM yang digunakan harus memiliki karakteristik yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 2. Karakteristik material *phase change material* (PCM) yang digunakan pada sistem SWH menurut Regin, dkk (2008).

No	Sifat termal	Sifat fisis	Sifat kimia	Faktor ekonomi
1	Temperatur perubahan fase dari material sesuai dengan temperatur kerja.	Kerapatan material tinggi.	Memiliki sifat kimia yang stabil.	Tersedia banyak.

No	Sifat termal	Sifat fisis	Sifat kimia	Faktor ekonomi
2	Memiliki nilai <i>latent heat</i> dan <i>specific heat</i> yang tinggi.	Perubahan kerapatan yang rendah ketika merubah fasa.	Tidak terjadi dekomposisi.	Tidak mahal.
3	Konduktivitas termal rendah	Tidak terjadi <i>supercooling</i> ketika pendinginan.	Tidak beracun dan mudah terbakar	
4	Densitas energi tinggi		Cocok dengan kapsul	

Agyenim, dkk (2010) menjelaskan bahwa kapasitas penyimpanan dari PCM bergantung pada besarnya *nilai specific heat* dan *laten heat value*. Semakin tinggi *nilai specific heat* dan *laten heat value* dari PCM akan semakin baik. Hal ini disebabkan karena kapasitas penyimpanannya akan semakin besar. Material PCM dengan perubahan fase padat-gas atau cair-gas pada umumnya tidak digunakan sebagai penyimpanan energi. Karena ketika PCM mengalami perubahan fase menjadi gas, maka volume material tersebut akan menjadi sangat besar sehingga perlunya sistem yang besar dan kompleks. Klasifikasi jenis PCM dapat dilihat pada Gambar 2.6.

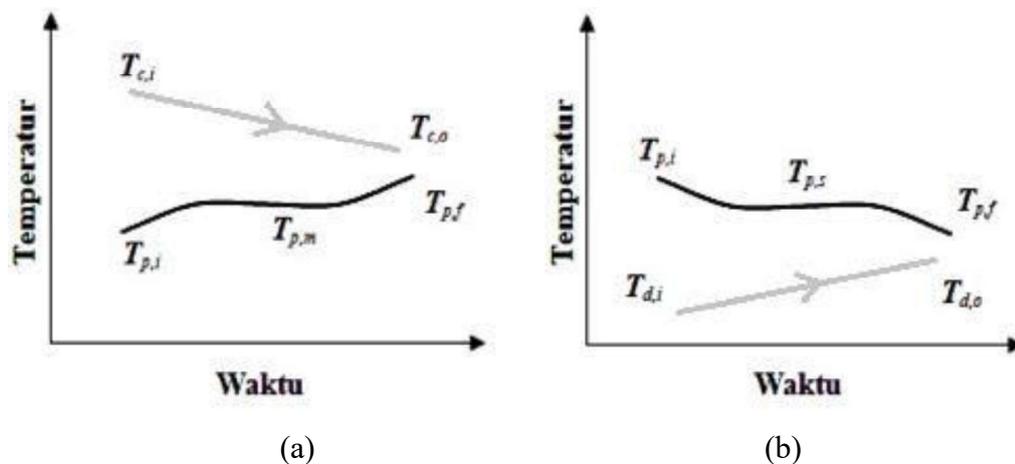


Gambar 2. 5. Klasifikasi phase change material (PCM)
(Sumber: Gil, dkk 2010)

2.2.9 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 diawali dari temperatur rendah ke temperatur tinggi. Selama proses ini PCM akan menyerap energi panas sampai mengalami perubahan fasa dari *solid-liquid* atau mencapai temperature leleh. Ketika proses *charging* selesai, maka diharapkan PCM yang akan meleleh dengan sempurna dan temperatur PCM akan sama dengan HTF.

Proses *discharging* adalah proses 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 *liquid-solid* atau *solidification*. Selama proses ini temperatur PCM akan turun dan berhenti ketika temperatur PCM sama dengan temperatur HTF. Grafik perubahan temperatur pada proses *charging* dan *discharging* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Skema temperatur pada sistem LHS
(a) Proses *charging* (b) Proses *discharging*