

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Pemanas Air Tenaga Surya (PATS)

Ikhsan dkk (2017) pada penelitiannya mengatakan bahwa perlunya melakukan beberapa modifikasi pada penggunaan PATS karena efisiensinya yang masih rendah. Salah satu cara memodifikasinya adalah dengan mengganti pelat kolektor surya konvensional menjadi pelat ganda dengan pola zig-zag. Pengujian ini dilakukan dengan studi eksperimental. Pada saat proses penelitian, peneliti menemukan bahwa rata-rata energi dari radiasi matahari pada kolektor memiliki nilai yang seimbang setiap harinya. Namun nilai rata-rata energi yang digunakan untuk memanaskan air memiliki perbedaan setiap harinya. Kemudian efisiensi *solar water heater double plate* dengan aliran zig-zag beralur balok yang di dapat oleh peneliti pada hasil penelitiannya yaitu rata-rata tertinggi didapat pada variasi debit aliran 700 mL/menit dengan variasi temperatur awal masuk menghasilkan nilai efisiensi sebesar 49,11%.

Jamar dkk (2016) pada penelitiannya melakukan pengkategorian dan mengkaji aplikasi energi matahari pada PATS. Peneliti juga menjelaskan mengenai perkembangan terbaru dan kemajuan PATS berdasarkan tiga komponen dasar yang dapat mempengaruhi kinerja sistem termal. Di dalam penelitian ini juga dijelaskan PATS sistem aktif, yang dijelaskan secara sederhana bahwa pada sistem aktif ini PATS menggunakan pompa listrik, katup, pengontrol untuk mensirkulasi air atau cairan transfer panas yang lain melalui kolektor, biasanya sistem ini juga dikenal sebagai sirkulasi paksa.

Penelitian yang dilakukan oleh Sudrajat dan Santosa (2014) adlam studi eksperimen pada sistem PATS dengan menggunakan kolektor plat datar yang memiliki tujuan untuk menyelidiki spesifikasi panjang pipa pemanas PATS untuk mendapatkan suhu 45⁰C. Dalam hasil penelitiannya peneliti menghasilkan suhu

yang berkisar rata-rata mencapai 52 °C pada saat cuaca sedang mendukung. Maka dapat disimpulkan bahwa panjang pipa untuk membuat PATS temperatur air keluar (T_{out}) 45°C adalah 1,63 m, dan terbuat dari bahan jenis tembaga, berdiameter 0,5 inchi.

2.1.2. PCM sebagai *Thermal Energy Storage* (TES)

Canbazoglu dkk (2015) melakukan penelitian eksperimental tentang variasi waktu suhu air di titik tengah tangki penyimpanan panas dan di *outlet* kolektor dalam PATS *open-loop* pasif konvensional dikombinasikan dengan bahan perubahan fase-natrium tiosulfat pentahidrat-fase (PCM) selama bulan November, peneliti juga melakukan perbandingan dengan sistem konvensional yang tidak menggunakan PCM. Ketika diamati, suhu air di titik tengah tangki penyimpanan menurun secara teratur dari hari ke hari sampai perubahan suhu fase PCM setelah intensitas radiasi matahari menurun, kemudian nilai konstan 45 °C dapat dipertahankan pada periode sekitar 10 jam pada malam hari sampai matahari bersinar, karena tidak ada air panas yang digunakan. Kemudian hasil yang didapat oleh peneliti adalah adanya perbedaan suhu di titik tengah tangki penyimpanan panas dan di *outlet* kolektor untuk tangki penyimpanan panas yang menggunakan PCM lebih tinggi sekitar 6 °C daripada sistem PATS tanpa PCM. Namun, peneliti menjelaskan bahwa penelitian penggunaan PCM ini memiliki efek yang lebih baik apabila dilakukan ketika musim panas.

Sharif dkk (2015) dalam penelitiannya menjelaskan bawa dari konsumsi energi dari sector perumahan, komersial dan industry 755 berasal dari sistem pemanas dan air panas domestik (DWH). Dalam teknologi energi panas dan limbah panas matahari, PCM merupakan bagian yang sangat penting. Hasil dari penelitian ini menggunakan PCM dengan kapsul bola dan menggunakan *paraffin wax* dapat menyimpan energi termal, menurunkan biaya dan volume sistem pemanas air domestik.

Nadjib dkk (2015) melakukan penelitian secara eksperimental untuk menyelidiki bagaimana kemampuan penyimpanan energi termal pada tangki PATS yang di dalamnya berisi PCM. Pada penelitian ini sistem PATS diposisikan

menghadap matahari, sehingga terjadi proses *charging* dimana temperatur HTF dan PCM akan meningkat akibat dari transfer kalor dari air kolektor. Pada proses *charging* temperatur akan direkam. Kemudian, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa PATS memiliki total kapasitas penyimpanan energi termal terbesar adalah 4,8 MJ dan kontribusi dari penggunaan PCM adalah 44,28% selama waktu *charging* 340 menit. Dalam kesimpulannya PCM telah berfungsi menyimpan energi termal di dalam tangki.

Pada penelitiannya Sharman dan Chen (2009), melakukan penelitian jenis penelitian sistem pemanas air domestik yang memanfaatkan matahari untuk menjadi sumber kalor, serta melibatkan PCM berjenis *paraffin* yang dimasukkan ke dalam kapsul bola menunjukkan bahwa *paraffin* cocok sebagai media penyimpanan energi termal. Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa sistem pemanas air tenaga surya ini memiliki peranan penting dalam manajemen energi berkelanjutan rumah tangga di seluruh dunia. Hal ini menjadi upaya dalam meningkatkan kualitas hidup serta perlindungan pada lingkungan.

2.1.3. *Solar Simulator* sebagai *Source of Energy*

Simulator surya merupakan sumber cahaya yang dapat memberikan penerangan yang dekat dengan sinar matahari. Biasanya *solar simulator* ini digunakan untuk pengujian yang berada di dalam ruangan yang terkontrol dari berbagai alat dan baham. Namun *solar simulator* lebih sering digunakan untuk pengujian sel surya, karakterisasi, control kualitas, dan verifikasi kinerja dari modul yang sudah selesai (Novičkovas dkk, 2013).

Pada penelitian Emery dkk (2014), menjelaskan bahwa simulator surya merupakan bagian integral dari setiap laboratorium yang terlibat dalam fotovoltaik (PV). Pada penelitiannya ini, mereka mengukur efek penerangan bola, refleksi dari optik simulator dan *fixturing*, radiasi spektral, dan variasi karakteristik temporal dan spasial dari simulator surya pada kinerja perangkat PV. Hasil penelitiannya menunjukkan adanya kemungkinan peningkatan arus diakibatkan karena pantulan yang menyimpang hanya mampu dideteksi apabila pantulannya dihilangkan atau

dibandingkan dengan sistem pengukuran yang berbeda-beda. Selain itu, efek penuaan bohlam juga dapat diabaikan dibandingkan dengan sumber kesalahannya.

Pada penelitiannya, Ekman dkk (2015) mengatakan bahwa simulator surya *flux* tinggi yang digunakan untuk menghasilkan eksperimen suhu tinggi terkendali merupakan alat yang penting untuk sebuah penelitian dan pengembangan proses material suhu tinggi. Dalam meniru spektrum matahari sedekat mungkin maka desain simulator surya *flux* tinggi menggunakan lampu *metal halide* yang telah dibangun. Penelitian ini menyajikan perbandingan desain yang berbeda-beda dan kinerjanya. Pada hasil penelitiannya, mereka menemukan bahwa lampu *metal halide* yang dipadukan dengan reflector elipsoid akan menghasilkan profil *flux* yang lebih datar dan tidak terlalu intens mirip dengan distribusi spectral sinar matahari.

2.1.4. *Heat Transfer Fluid* (HTF)

Nadjib (2016) melakukan penelitian mengenai perilaku termal penggunaan *paraffin wax* di dalam tangki PATS jenis *thermoshypon*. Peneliti menggunakan kolektor pelat datar dan tangki *thermal energy* (TES) yang akan dipasang di sisi atas kolektor secara horisontal. Pada penelitian ini air digunakan untuk SHS (*sensible heat storage*) dan HTF. Kemudian termokopel akan dipasang di sisi HTF dan sisi PCM. Selama proses *charging* pengambilan data akan dilakukan dengan merekam temperatur HTF, PCM dan intensitas radiasi matahari setiap 30 detik. Data ini akan digunakan untuk mengetahui evolusi temperatur HTF dan PCM. Berdasarkan hasil penelitiannya, pada saat *charging* peneliti mendapatkan karakteristik khas dari PATS yang berisi PCM yaitu adanya kenaikan temperatur dari HTF dan PCM yang ada di dalam tangki secara perlahan-lahan dan berfluktuasi seiring dengan berjalannya waktu. Maka untuk mengimbangi karakteristik tersebut perlu adanya pengoptimalan densitas energi di dalam tangki TES.

Dalam penelitian Bellan dkk (2014) mereka mengkaji studi eksperimental tentang penyimpanan energi termal dengan menggunakan kapsul PCM berbentuk bola. Pada penelitiannya ini, peneliti menggunakan sodium nitrat sebagai PCM dan minyak sintetik temperatur tinggi (*Therminol 66*) sebagai HTF. Aliran dari HTF ini

dianggap simetris dengan sumbu axis sehingga aliran di dalam tangki dianggap hanya 2 dimensi. Berdasarkan kesimpulannya terdapat pernyataan bahwa waktu yang diperlukan PCM dalam proses *discharging* lebih lama daripada *charging*, serta kecepatan *charging* dan *discharging* akan lebih cepat jika menggunakan kapsul yang lebih kecil.

Berdasarkan penelitian terdahulu ditemukan persamaan dan perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu penelitian terdahulu di atas sama-sama membahas PATS yang menggunakan PCM, namun yang menjadi perbedaan adalah setiap penelitian terdahulu meneliti di bagian yang berbeda-beda. Selain itu penelitian ini fokus pada tangki PATS untuk mencari kapasitas tiap-tiap material dalam pengumpulan energi dengan menggunakan *solar simulator* dengan variasi *heat flux*. Penelitian yang dilakukan juga bersifat baru atau dengan kata lain benar-benar belum dilakukan oleh penelitian sebelumnya.

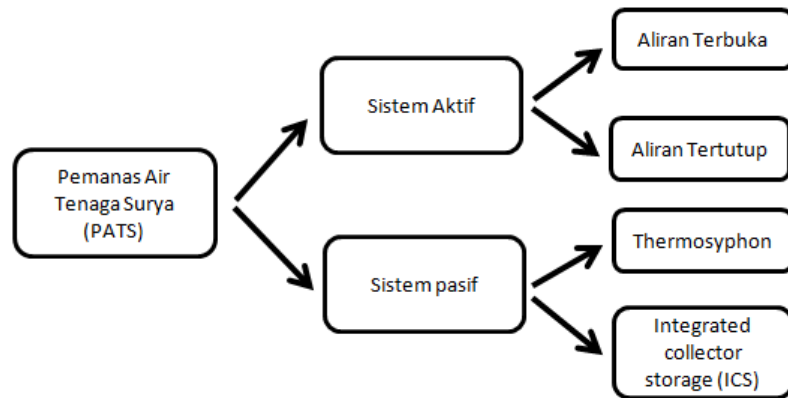
2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem 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 berbagai macam bentuk. PATS terdiri dari 3 komponen utama yang berfungsi untuk menunjang prinsip kerja sistem, yaitu kolektor, tangki, dan sistem perpipaan. Sistem perpipaan terdiri dari pipa-pipa yang menghubungkan antar kolektor surya dan penghubung antara tangki dengan kolektor, serta penyambung pipa agar dapat tersambung ke kolektor surya ataupun tangki. Selain komponen tersebut, ada beberapa komponen yang digunakan antara lain adalah sebagai berikut.

- 1) Elemen pengikat berfungsi untuk mengikat tangki dan kolektor agar komponen ini tetap padaudukannya.
- 2) Katup pengaman tekanan memiliki fungsi untuk melindungi sistem agar tetap bekerja pada tekanan yang diijinkan.

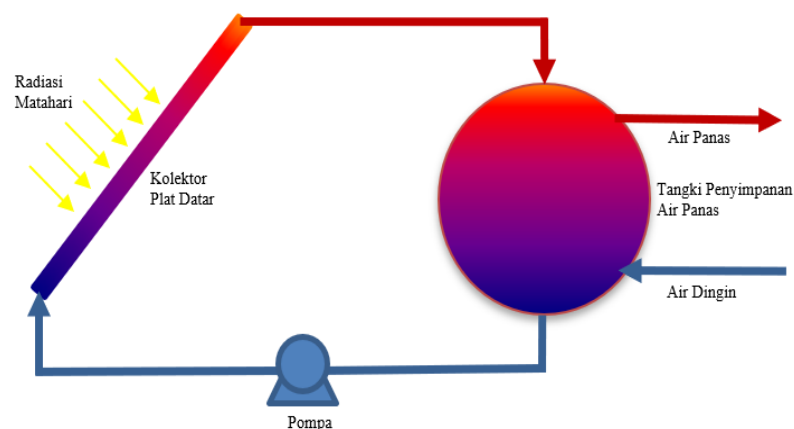
- 3) Pemanas tambahan digunakan karena energi matahari yang diserap kolektor tidak dapat memanaskan air sesuai kebutuhan (SNI 3021, 1992).



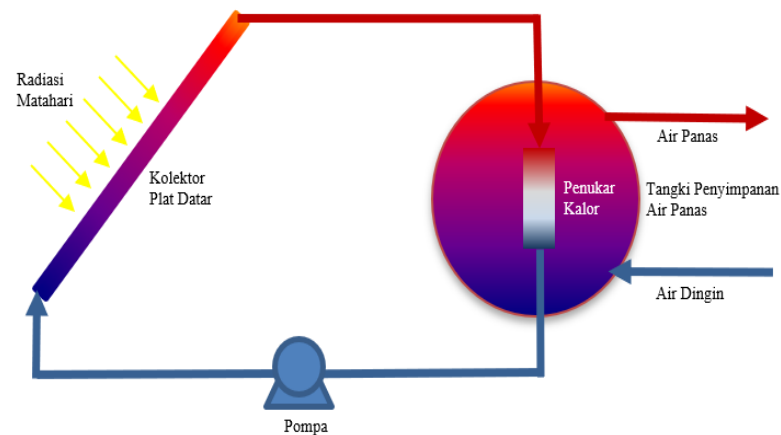
Gambar 2.1. Sistem PANTS (Jamar, 2016)

2.2.1.1. PANTS Sistem Aktif

Menurut Jamar dkk (2016), menyebutkan PANTS yang menggunakan sistem memerlukan pompa dan perangkat pengontrol otomatis untuk mengontrol pendistribusian energi termal pada HTF. Sistem aktif dapat dibagi menjadi 2, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Perbedaan antara keduanya terletak pada pendistribusian. Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 menunjukkan proses distribusi aliran sistem terbuka tidak menggunakan *heat exchanger*, sedangkan sistem tertutup memerlukan *heat exchanger*.



Gambar 2.2. PANTS sistem aktif terbuka. (Dwivedi, 2009)



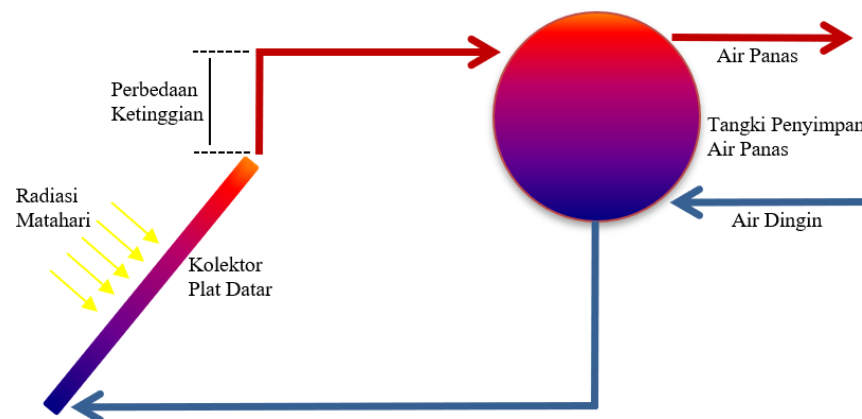
Gambar 2.3. PATS sistem aktif tertutup. (Dwivedi, 2009)

2.2.1.2. PATS Sistem Pasif

Sistem pasif adalah sistem PATS yang menggunakan konveksi alami sebagai penggerak HTF. Sistem ini terjadi karena ada pengurangan *fluid density* setelah dipanaskan sehingga HTF di kolektor dapat naik ke dalam tangki dan HTF di tangki dapat turun ke kolektor. Sirkulasi ini akan terus berulang hingga tidak ada pemanasan yang terjadi di dalam kolektor. Keunggulan dari sistem pasif adalah tidak adanya instrumen pengontrol sirkulasi HTF sehingga tidak memerlukan perawatan yang rumit.

a. *Thermoshypon*

Sistem *thermoshypon* berkerja ketika HTF di dalam kolektor mengembang dikarenakan massa jenisnya menurun akibat pemanasan sehingga secara otomatis HTF akan naik ke dalam tangki. Karena hal itu kemudian HTF didalam tangki terdorong turun menuju kolektor. Proses tersebut akan terus berlanjut hingga temperatur HTF di dalam sistem sama. Meskipun begitu, untuk menghindari aliran terbalik yang kemungkinan terjadi pada malam hari, sebaiknya pemasangan tangki TES diletakkan cukup tinggi di atas kolektor surya. (Dwivedi, 2009)



Gambar 2.4. Sistem thermosiphon (Dwivedi, 2009)

b. *Integrated Collector Storage*

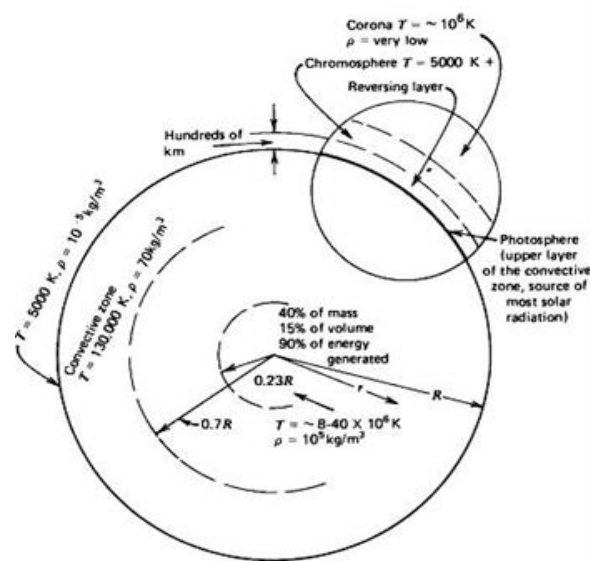
Integrated Collector Storage (ICS) merupakan contoh lain dari sistem pasif. Keunggulan dan ciri khusus dari sistem ICS yaitu kolektor dan TES yang menjadi satu bagian. Penggunaan teknologi ICS sangat menjanjikan pada kebutuhan domestik, pertanian, dan industrial karena harganya yang lebih ekonomis dibandingkan sistem PATS yang lain (Seddegh dkk 2015). Akan tetapi, insulasi yang tidak dapat dipasang pada seluruh bagian ICS mengakibatkan *heat loss* terjadi lebih cepat.

2.2.2. Energi Matahari

Matahari dapat diartikan sebagai bola pijar sangat besar yang terdiri dari plasma panas bercampur medan magnet dengan diameter $1,39 \times 10^9$ m dan massanya sekitar 2×10^{30} kilogram, 330.000 kali massa bumi. Matahari terbentuk terjadi karena reaksi fusi yang terus-menerus dari berbagai macam gas dan tertahan oleh gaya gravitasi. Salah satu reaksi yang penting dalam pembentukan matahari adalah reaksi hidrogen untuk membentuk helium. Energi yang dihasilkan dari inti matahari ditransfer ke permukaan dan kemudian diradiasikan. (Duffie dan Beckman, 2013). Skema struktur dari matahari digambarkan pada Gambar 2.5.

Matahari memancarkan radiasi dengan rentang panjang gelombang yang sangat besar. Ada 3 gelombang yang di kelompokkan oleh para ilmuwan, di antaranya adalah gelombang infra merah, cahaya tampak, dan ultraviolet. Selain itu

cahaya matahari juga dikelompokkan menjadi *direct radiation* dan *diffuse radiation*. *Direct radiation* adalah radiasi yang langsung ke permukaan bumi, sedangkan *diffuse radiation* merupakan radiasi yang berasal dari hamburan atmosfer. Radiasi yang tiba di permukaan bumi berbeda-beda di setiap tempat. Insolasi merupakan radiasi matahari yang tiba di permukaan bumi per satuan luas dan waktu. (Hamdi, 2014).



Gambar 2.5. Skema struktur matahari (Duffie dan Beckman, 2013)

2.2.3. Solar Simulator

Solar simulator merupakan perangkat elektrik yang dapat digunakan untuk aplikasi dua hal yang berbeda, yaitu: pengukuran I-V dan *irradiance exposure*. Perangkat ini dirancang untuk menghasilkan *sun light* buatan yang mendekati spektrum aslinya. *Solar simulator* biasanya terdiri dari tiga komponen utama, yakni: (1) *light source* beserta catu dayanya; (2) optik dan *filtertools*; dan (3) *control simulator*.

2.2.4. Phase Change Material

Phase change material (PCM) merupakan material penyimpan energi yang memiliki penyimpanan energi termal lebih baik daripada *sensible heat storage* (SHS). PCM mampu menyerap ataupun melepas energi secara konstan pada saat *melting* (*solid-liquid*) atau *sodification* (*liquid-solid*). Penggunaan PCM dapat

menyimpan energi termal 5-14 kali lebih banyak daripada SHS. Material PCM yang digunakan sebagai penyimpanan termal harus memiliki karakteristik seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik PCM yang diinginkan pada sistem PATS (Regin dkk, 2008)

| <i>Sifat termal</i> | <i>Sifat fisis</i> | <i>Sifat kimia</i> | <i>Faktor ekonomi</i> |
|---|--|--|-----------------------|
| Temperatur perubahan | Kerapatan | Memiliki sifat | Tersedia banyak. |
| fase dari material sesuai dengan temperatur kerja. | material tinggi. | kimia yang stabil. | |
| Memiliki nilai latent heat dan specific heat yang tinggi. | Perubahan kerapatan yang rendah ketika merubah fase. | Tidak terjadi dekomposisi. | Tidak mahal. |
| Konduktivitas termal yang tinggi (solid maupun liquid). | Tidak terjadi supercooling ketika pendinginan. | Tidak beracun, tidak mudah terbakar dan tidak meledak. | |

Kapasitas penyimpanan dari PCM bergantung pada *specific heat* dan *latent heat values*. Semakin tinggi harga dari *specific heat* dan *latent heat values* dari PCM akan semakin baik karena kapasitas penyimpanannya akan semakin besar. Meskipun demikian, material PCM dengan perubahan fase *solid-gas* atau *liquid-gas* umumnya tidak digunakan sebagai penyimpanan energi. Hal ini dikarenakan saat PCM berubah fase menjadi gas, volume material akan menjadi sangat besar sehingga memerlukan sistem yang besar dan kompleks (Agyenim dkk, 2010).

2.2.5 Thermal Energy Storage

Thermal Energy Storage (TES) merupakan suatu sistem yang dirancang untuk menyimpan energi termal. Penggunaan *storage* berfungsi agar energi termal yang tersimpan dapat digunakan ketika diperlukan. Lefebvre dan Tezel (2017) mengatakan energi termal dapat tersimpan atau terlepas dalam TES karena adanya proses *heating, cooling, melting, solidifying, vaporizing* atau proses *thermo-chemical* yang lain di dalam sistem. Energi matahari merupakan salah satu bentuk energi termal. Sistem TES ini menjadi sangat penting karena energi matahari hanya memancarkan energinya pada siang hari. Oleh karena itu, dengan adanya sistem ini, energi termal dari matahari tetap bisa digunakan ketika menjelang malam hari.

TES dapat dikategorikan menjadi 3 jenis, yaitu *latent heat storage* (LHS), *sensible heat storage* (SHS), dan *thermo-chemical storage*. Pada aplikasinya, LHS dan SHS terjadi *heat loss* seiring dengan berjalannya waktu hal ini kurang tepat jika digunakan sebagai penyimpan energi jangka panjang.

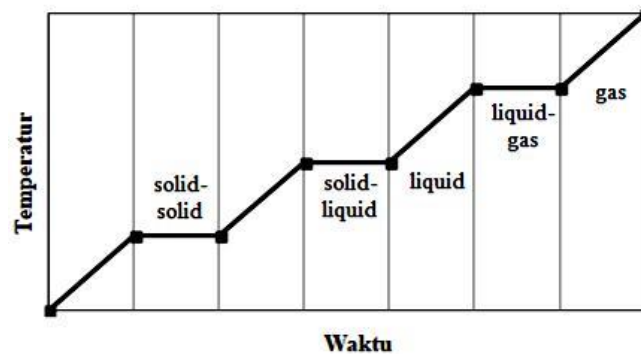
2.2.5.1. Sensible Heat Storage

Pada *sensible heat storage* (SHS), energi tersimpan di dalam sistem ditandakan dengan perubahan temperatur pada material penyimpan energi. Berdasarkan aplikasinya, SHS dikategorikan menjadi 2 jenis, 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 di antara ketiga tipe *storage*. Akibatnya SHS memerlukan *volume storage* yang besar. Selain itu, pada SHS terjadi *heat loss* yang sangat signifikan sebagai material penyimpan energi. Akibat rendahnya efisiensi pada proses penyimpanan, SHS tidak efektif digunakan sebagai teknologi penyimpanan energi panas.

2.2.5.2. Latent Heat Storage

Pada *latent heat storage* (LHS), perubahan fase dari material penyimpan energi merupakan tanda penyerapan atau pelepasan energi terjadi pada sistem ini.

Pada umumnya, perubahan fase *liquid-solid* lebih banyak digunakan sebagai *energy storage* dibandingkan dengan fase *liquid-vapor* karena volume yang dibutuhkan dalam perubahan fase *liquid-solid* lebih sedikit. Tahapan perubahan fase pada suatu zat digambarkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Diagram temperatur-waktu pada pemanasan suatu zat (Regin dkk, 2008)

2.2.5.3. Thermo-Chemical Storage

Thermo-chemical storage adalah teknologi baru dalam bidang penyimpanan energi termal. *Thermo-chemical storage* menggunakan reaksi termokimia untuk menyerap energi termal. Energi disimpan melalui *reversible reaction* dan dilepas ketika reaksi tersebut dibalik. Meskipun *thermo-chemical storage* memiliki *energy density* yang tinggi, tetapi sistem ini memerlukan *catalyst* untuk melepas energi dan mengontrol reaksi termokimia sehingga hal itu tidak diinginkan.

2.2.6. Charging dan Discharging

Proses *charging* diawali dengan penyerapan energi termal yang terjadi di dalam kolektor untuk menaikkan temperatur HTF. Kemudian, HTF di dalam kolektor pada temperatur $T_{c,i}$ bersirkulasi ke dalam tangki TES karena terjadi perbedaan temperatur HTF pada kolektor dan tangki. Di dalam tangki TES, energi termal pada HTF diserap oleh PCM yang memiliki temperatur $T_{p,i}$. PCM yang terus menyerap energi termal mulai mengalami pelelehan yang menandakan PCM telah memasuki temperatur leleh ($T_{p,m}$). Apabila energi termal pada HTF terus diserap

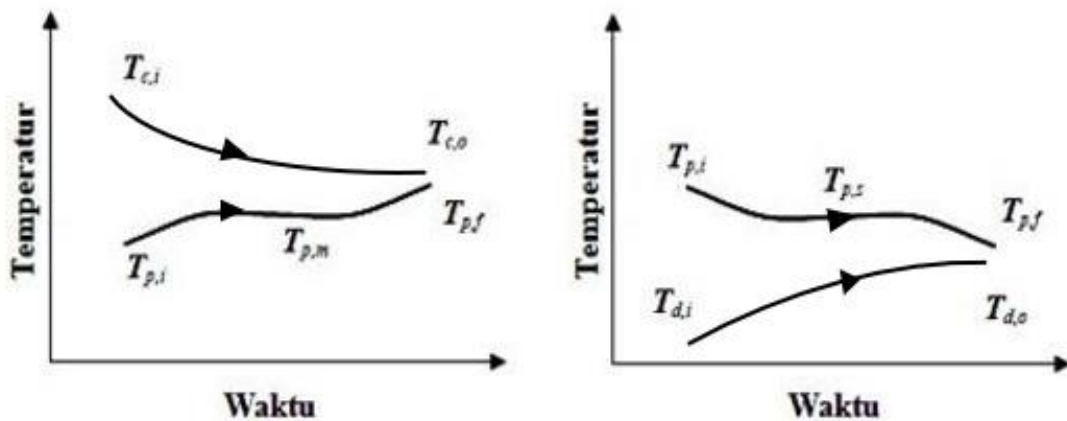
setelah PCM meleleh sempurna, maka temperatur PCM menjadi $T_{p,f}$. Proses *charging* selesai saat HTF bertemperatur $T_{c,o}$. Kalor yang dilepas HTF selama proses *charging* dapat diketahui dengan persamaan 2.1.

Temperatur HTF dan PCM saat awal mula proses *discharging* masing-masing adalah $T_{d,i}$ dan $T_{p,i}$. Kebalikan dari proses *charging*, *transfer* kalor terjadi dari PCM ke HTF. PCM mulai mengalami pembekuan saat temperatur PCM mencapai $T_{p,s}$. Apabila temperatur HTF di bawah temperatur $T_{p,s}$, maka *transfer* kalor dari PCM akan terus berlangsung hingga temperatur PCM mencapai $T_{p,f}$.

$$Q_c = \dot{m}_{ch} c_{p,ch} (T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (2.1)$$

$$Q_d = \dot{m}_d c_{p,d} (T_{d,i} - T_{d,o}) \quad (2.2)$$

Temperatur akhir HTF saat proses *discharging* selesai adalah $T_{d,o}$. Kalor yang diterima HTF dari PCM selama proses *discharging* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2. Proses di atas diilustrasikan pada Gambar 2.7 (Ramayya dan Ramesh, 1998).



Gambar 2.7. Skema variasi temperatur pada sistem LHS (a) proses *charging* (b) proses *discharging*.

2.2.7. Kalor Tersimpan Sesaat

Menurut Nallusamy dkk (2007), kalor tersimpan sesaat dapat dihitung berdasarkan temperatur masuk sesaat ($T_{w,in}(t)$, °C) dan temperatur keluar sesaat ($T_{w,out}(t)$, °C) dari HTF pada tangki TES seperti pada persamaan 2.3 berikut.

$$Q(t) = \dot{m}c_{p,w}(T_{w,in}(t) - T_{w,out}(t)) \quad (2.3)$$

Dimana :

\dot{m} : Laju aliran massa air panas dalam (kg/dt).

$c_{p,w}$: Kalor jenis air panas dalam (J/kg.°C).

Berdasarkan persamaan 2.3, untuk mencari mencari volume dari air panas diperlukan harga kalor jenis air dan densitas air, panas maupun dingin. Harga tersebut dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Popiel dan Wojtkowiak, 1998).

$$\rho(T) = 999,79684 + 0,068317355T - 0,010740248T^2 + 0,00082140905T^{2,5} - 0,000023030988T^3 \quad (2.4)$$

$$C_p(T) = 4,2174356 - 0,0056181625T + 0,0012992528T^{1,5} - 0,00011535353T^2 + 0,00000414964T^{2,5} \quad (2.5)$$

2.2.8. Kapasitas Energi Tersimpan

Kapasitas energi tersimpan merupakan besarnya energi yang dapat disimpan di dalam tangki TES. Jumlahnya dapat dihitung dengan mengetahui penyimpanan termal pada tangki TES, yaitu HTF, PCM, kapsul, dan tangki. Kapasitas energi yang tersimpan berupa kalor sensibel HTF, kalor laten PCM, kalor sensibel PCM, dan kalor sensibel kapsul. Oleh karena itu, kapasitas energi tersimpan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6. (Nallusamy dkk, 2007)

$$E(t) = m_w c_{p,w} \{T_w(t) + T_{w,i}\} + m_p c_{p,ps} \{T_m(t) - T_{p,i}\} + L + c_{p,pl} \{T_{p,am}(t) - T_m(t)\} + m_c c_{p,c} \{T_c(t) - T_{c,i}\} + m_t c_{p,t} \{T_t(t) - T_{t,i}\} \quad (2.6)$$

Dimana :

- m_w : Massa air (kg).
- m_p : Massa PCM (kg).
- m_c : Massa kapsul (kg).
- m_t : Massa tangki (kg).
- $c_{p,w}$: Kalor jenis air (kJ/kg.°C).
- $c_{p,ps}$: Kalor jenis PCM padat (kJ/kg.°C).
- $c_{p,pl}$: Kalor jenis PCM cair (kJ/kg.°C).
- $c_{p,c}$: Kalor jenis dinding kapsul (kJ/kg.°C).
- $c_{p,t}$: Kalor jenis dinding tangki (kJ/kg.°C).
- T_w : Temperatur air panas (°C).
- $T_{w,I}$: Temperatur awal air (°C).
- T_m : Temperatur leleh PCM (°C).
- $T_{p,am}$: Temperatur PCM di atas titik leleh (°C).
- $T_{p,I}$: Temperatur awal PCM (°C).
- T_c : Temperatur kapsul (°C).
- $T_{c,i}$: Temperatur awal kapsul (°C).
- T_t : Temperatur tangki (°C).
- $T_{t,i}$: Temperatur awal tangki (°C).
- L : Kalor laten pelelehan (J/kg).