

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang memiliki potensi sumber daya energi yang besar. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri, Indonesia memerlukan pasokan energi yang cukup besar dimana saat ini konsumsi energi Indonesia masih tergantung pada sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam. Pemanfaatan bahan bakar fosil secara terus-menerus dapat mengakibatkan menipisnya sumber energi fosil dan secara berkelanjutan berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (Umam dkk, 2018). Dengan semakin menipisnya sumber energi fosil, saat ini terjadi pergeseran dari penggunaan sumber energi tak terbarukan menuju sumber energi terbarukan. Potensi energi terbarukan, seperti: biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin, energi samudera, *hydro power* sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan ini sangatlah besar khususnya di Indonesia. Dari sekian banyak sumber energi terbarukan, penggunaan energi surya menarik untuk dikembangkan karena energi surya merupakan sumber dari energi terbarukan lainnya.

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang dikembangkan oleh pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 10% dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi penyinaran matahari rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%, sehingga dapat dikatakan bahwa sumber segala energi adalah energi surya. Energi surya memiliki keunggulan, yaitu tidak bersifat polutif, tidak dapat habis, dapat dipercaya dan tidak membeli.

Kekurangan dari energi surya ini adalah perolehan energinya lambat dan tidak konstan (Widayana, 2012).

Şen (2008) menyebutkan bahwa energi matahari dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu secara alamiah dan buatan. Pemanfaatan energi matahari secara alamiah berkaitan dengan *photolysis*, keikliman dan kelautan. *Hydro power*, *current power*, *wind power* dan *thermal power* terbentuk dari adanya iklim dan laut. Pemanfaatan energi matahari secara buatan diklasifikasikan dalam dua bentuk yaitu dari energi foton dan energi termal. Energi foton digunakan pada proses *fotovoltaik* dan *photolysis* di industri, sedangkan dari energi termal dapat digunakan untuk *solar furnace* di industri, mesin kalor, proses pengeringan, memasak, sistem refrigerasi, penyulingan, dan sistem pemanasan fluida seperti udara dan air sebagai fluida pemindah kalor (*heat transfer fluid*, HTF).

Pemanas air tenaga surya (PATS) adalah aplikasi teknologi yang cukup populer di masyarakat. Hal ini dikarenakan sistemnya yang sederhana dan sampai sekarang produknya banyak dijumpai. PATS pada umumnya terdiri dari kolektor matahari sebagai pengumpul energi dari matahari, tangki air sebagai penyimpanan air panas, dan pipa-pipa sebagai penghubung (Patel dkk, 2012). Sirkulasi air dari kolektor ke tangki maupun sebaliknya pada sistem PATS terjadi secara konveksi alami akibat adanya perbedaan densitas air. Sistem ini disebut dengan sistem pasif. Contoh terbaik dari sistem pasif adalah sistem *thermosyphon* dengan keuntungan yaitu biaya operasional rendah karena PATS beroperasi tanpa menggunakan pompa sirkulasi serta perawatan mudah. Sebaliknya, PATS sistem aktif menggunakan pompa listrik, katup, dan pengontrol untuk mensirkulasikan air atau cairan perpindahan panas lainnya melalui kolektor. Jadi, sistem aktif disebut juga dengan sistem sirkulasi paksa (Patel dkk, 2012).

Pemanfaatan energi matahari sebagai pemanas air memiliki beberapa kelemahan, yaitu ketika cuaca mendung proses pemanasan air akan terganggu serta pemanasan air tidak dapat digunakan saat malam hari, sehingga akan sulit untuk mempertahankan energi panas yang diterima oleh PATS (Yuliyani dkk, 2020). Di lain pihak, kebutuhan akan air panas pada skala domestik terjadi setiap pagi dan malam hari saat tidak tersedia iradiasi matahari. Dengan demikian terjadi

ketidaksesuaian antara kebutuhan air panas dan ketersediaan sumber energi terhadap waktu. Oleh karena itu, sistem pemanas air perlu dilengkapi dengan penyimpanan energi termal (*thermal energy storage*, TES) untuk menyimpan energi panas dan untuk mengatasi ketidaksesuaian tersebut.

PATS konvensional menggunakan air sebagai *sensible heat storage* (SHS). Penggunaan air merupakan cara yang umum dan dapat diandalkan karena harganya murah serta mempunyai sifat termal yang baik. Meskipun demikian, pemakaian air memiliki kekurangan yaitu memerlukan volume penyimpanan yang besar karena nilai densitas energinya rendah dan SHS yang menggunakan air cenderung memiliki karakteristik sistem yang berat. Beratnya sistem PATS membutuhkan perhatian khusus saat pemasangan. Konstruksi di sekitar tempat pemasangan harus diperhitungkan agar kuat menahan beban sistem PATS yaitu beban alat dan beban air di dalamnya (Nadjib dkk, 2017).

Penggunaan material penyimpan kalor laten (*latent heat storage*, LHS) berpotensi meminimalkan kekurangan penggunaan SHS pada PATS. Penyimpanan jenis ini berpotensi menghasilkan sistem penyimpan termal dari energi matahari yang *compact* dan efisien. Penyimpanan energi termal (*thermal energy storage*, TES) yang menggunakan *phase change materials* (PCM) sebagai LHS sangat menarik karena mempunyai keuntungan yaitu penyimpanan kalornya tiap unit volume lebih besar daripada SHS dan pelepasan kalornya terjadi pada temperatur yang konstan. LHS mempunyai keunggulan dalam operasional dibanding SHS karena fluktuasi temperaturnya rendah, ukurannya lebih kecil, dan berat tiap unit lebih rendah (Nadjib dkk, 2020).

PCM merupakan jenis penyimpan kalor laten yang telah dikembangkan sebagai material TES pada sistem pemanasan. *Paraffin wax* adalah salah satu tipe PCM yang menjadi pilihan untuk diaplikasikan pada PATS sebagai material penyimpan energi termal. *Paraffin wax* memiliki keuntungan seperti proses perubahan fasenya *reversible*, kalor laten tinggi dan temperatur perubahan fasenya sesuai untuk sistem pemanasan memakai energi matahari. Namun demikian, material *paraffin wax* mempunyai kelemahan yaitu konduktivitas termalnya rendah sehingga proses perpindahan kalornya juga rendah. Pengkapsulan PCM di dalam

kapsul dapat meningkatkan perpindahan kalor. Penggunaan kapsul dapat meningkatkan luas permukaan perpindahan kalor sehingga aliran kalor lebih besar (Nadjib dkk, 2022).

Bilangan Stefan merupakan bilangan tak berdimensi yang didefinisikan sebagai rasio antara panas *sensible* dengan panas laten pada saat proses perubahan fase (Trp, 2005). Bilangan Stefan (*Stefan Number, Ste*) merupakan suatu parameter tak berdimensi yang digunakan untuk menganalisis *Stefan-problem*. Bilangan Stefan dikembangkan dari perhitungan laju perubahan fase cair menjadi es oleh Josef Stefan pada tahun 1969. Dalam perubahan fase *solid-liquid*, bilangan Stefan diartikan sebagai rasio panas sensibel (*sensible heat*) terhadap panas laten (*heat latent*) yang memiliki peran penting dalam proses perpindahan panas (Satbhai, 2019).

Para peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang penggunaan PCM pada PATS sistem aktif. Pemakaian modul PCM pada tangki air panas untuk pemanas air domestik menghasilkan air panas dengan waktu pemakaian yang lebih lama (Cabeza dkk, 2006). Sistem TES dengan *paraffin wax* sebagai media penyimpanan energi dengan proses *charging* dan *discharging* (Kaygusuz dan Sari, 2005). Eksperimen terhadap PCM yang dimasukkan dalam kapsul dan diletakkan pada tangki PATS konvensional, pengujian dilaksanakan pada kondisi *charging* dan *discharging* (Fazilati dan Alemrajabi, 2013). Laju aliran massa dan temperatur air masuk tangki yang berisi PCM dengan kapsul alumunium silindris berpengaruh besar pada saat *charging* (Padmaraju dkk, 2008). Prestasi termal penggunaan kombinasi material penyimpan kalor laten dan penyimpan kalor sensibel lebih baik daripada sistem PATS konvensional (Nallusamy dkk, 2006). Pemakaian PCM memberikan peningkatan unjuk kerja termal pada tangki PATS (Mazman dkk, 2009). Kapsul silinder tembaga berisi *paraffin wax* dimasukkan ke dalam tangki PATS dan disimpulkan bahwa temperatur air meningkat lebih cepat pada posisi tangki yang lebih tinggi (Kanimozhi dan Bapu, 2012). Efisiensi sistem PATS meningkat secara signifikan karena adanya PCM. Integrasi PCM dan air di dalam tangki mampu mempertahankan temperatur air masuk kolektor yang rendah sehingga mengurangi rugi-rugi di kolektor (Teamah dkk, 2018). *Solar simulator*

dapat digunakan untuk penelitian secara *indoor* pada PATS yang berisi PCM untuk menyelidiki perilaku termal di dalam tangki (Nadjib dkk, 2020). Penelitian PATS menggunakan metode di dalam ruangan (*indoor*) pernah dilakukan oleh Nadjib dkk (2020) dengan *heat flux*  $1000 \text{ W/m}^2$  dan debit air konstan sebesar 2 LPM. Bilangan Stefan dan ukuran jari-jari kapsul mempengaruhi perubahan fasa PCM (Regin dkk, 2008).

Penelitian pemakaian PCM pada PATS kebanyakan dilakukan untuk sistem aktif dengan tangki vertikal (sistem ini banyak diaplikasikan di negara non-tropis). Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan belum ada yang secara khusus menganalisis tentang pengaruh debit aliran terhadap bilangan Stefan dan kinerja unit penyimpanan selama proses perubahan fasa PCM di dalam tangki horisontal pada sistem PATS-PCM dengan sistem aktif berisi *paraffin wax*. Harga bilangan Stefan sangat berpengaruh terhadap proses pelelehan *paraffin wax* dibandingkan dengan laju aliran massa (Satbhai dkk, 2019). Besarnya harga bilangan Stefan dipengaruhi oleh besarnya temperatur HTF *inlet*. Harga bilangan Stefan yang tinggi menunjukkan kalor sensibelnya juga besar. Hipotesis pada penelitian ini adalah nilai debit aliran yang lebih tinggi dapat meningkatkan nilai bilangan Stefan serta menaikkan jumlah energi yang disimpan. Penelitian ini penting dilakukan untuk membuktikan hipotesis serta menambah informasi terkait PATS dan membantu pengembangan teknologi sistem PATS berbasis PCM.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Penelitian tentang PATS telah dilakukan oleh para peneliti dengan menggunakan PCM sebagai media penyimpanan panas. Akan tetapi, penelitian tersebut kebanyakan masih menggunakan metode *outdoor*. Kelemahan dari metode ini yaitu intensitas radiasi matahari bersifat fluktuatif sehingga sulit untuk mengamati pengaruh suatu parameter terhadap perilaku termal PATS. Bilangan Stefan adalah salah satu parameter untuk mengevaluasi proses transfer kalor di dalam tangki PATS. Di sisi lain, penelitian tentang karakteristik bilangan Stefan pada tangki sistem pemanas air tenaga surya tipe aktif berisi *paraffin wax* dengan variasi debit aliran menggunakan susunan kapsul tipe tumbuk belum pernah

dilakukan. Oleh karena itu, penelitian terkait dengan pengaruh debit aliran terhadap bilangan Stefan perlu dilakukan.

### **1.3. Asumsi dan Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan dengan asumsi dan batasan masalah sebagai berikut.

1. Sifat fisis *paraffin wax* mengacu pada data dari pabrik pembuat.
2. Kapsul PCM berisi *paraffin wax* dianggap bersifat homogen.
3. *Heat flux* yang dihasilkan *solar simulator* dianggap konstan.
4. Pengambilan data dilakukan dengan menganggap aliran HTF telah tunak.
5. Laju aliran massa dianggap konstan.
6. Penelitian hanya difokuskan pada tangki PATS-PCM selama proses *charging*.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan pola evolusi temperatur HTF dan PCM selama proses *charging*.
2. Untuk memperoleh kajian tentang pengaruh perubahan debit aliran HTF terhadap bilangan Stefan di dalam tangki.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Menambah wawasan dan pengetahuan untuk dunia Pendidikan maupun masyarakat luas tentang penggunaan LHS pada PATS.
2. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya untuk pengembangan produk PATS-PCM yang lebih inovatif dan efisien.
3. Penelitian ini dapat membantu kalangan industri dalam rangka pengembangan sistem PATS.