

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini bahan bakar fosil mendominasi untuk memenuhi kebutuhan energi manusia. Bahan bakar fosil selain mempunyai dampak positif juga terdapat dampak negatif yaitu ketergantungan masyarakat terhadap minyak bumi sangat tinggi. Keterbatasan pasokan bahan bakar ini menjadi kendala utama bagi manusia untuk mempertahankan sumber energi tersebut sebagai sumber berkelanjutan di bumi (Jamar dkk., 2016). Penggunaan energi fosil selama ini ternyata memiliki dampak terhadap lingkungan seperti : hujan asam, pemanasan global dan dampak – dampak turunan lain seperti perubahan iklim dan kerusakan ekosistem. Oleh sebab itu, penggunaan energi fosil yang merupakan sumber energi tak terbarukan harus ditekan sehemat mungkin, sedangkan sumber energi terbarukan dimanfaatkan sesuai dengan kapasitasnya (Harjanto, 2008).

Upaya untuk menekan penggunaan energi fosil dengan meningkatkan pemanfaatan penggunaan energi terbarukan. Energi matahari merupakan energi terbarukan yang mempunyai potensi terbesar. Di Indonesia termasuk Negara yang memiliki penyinaran matahari dengan intensitas yang cukup besar. Besar energi rata-rata matahari yang diemisikan kebumi sebesar $3,8 \times 10^{23}$ kW dan energi yang diterima bumi sebesar $1,8 \times 10^{14}$ kW, sedangkan sisanya dipantulkan kembali ke angkasa dan diserap oleh atmosfer (Thirugnanasambadan dkk., 2010). Energi matahari dapat dimanfaatkan baik dari sisi termal maupun listrik. Alat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dikenal dengan sel surya. Pemanfaatan energi matahari selain sel surya adalah *solar water heater* (pemanas air tenaga surya). Pemanas air tenaga surya merupakan teknologi yang dapat mengubah radiasi matahari menjadi termal (Jamar dkk., 2016).

Pemanas air tenaga surya (PATS) terdiri dari kolektor matahari sebagai pengumpul energi matahari, tangki air sebagai penyimpan 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. 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., 2016). Di lain pihak, kebutuhan akan air panas pada skala domestik terjadi setiap pagi dan malam hari tanpa mengenal kondisi cuaca. 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.

Penggunaan penyimpanan kalor sensibel (*sensible heat storage*, SHS) pada pemanasan air konvensional sudah cukup luas digunakan pada sistem PATS. Keuntungan yang didapatkan dari penggunaan air yang merupakan salah satu jenis SHS adalah memiliki konduktivitas termal yang baik dan harganya murah. Menurut Hasan (1994), kelemahan air sebagai media penyimpanan adalah bobot dari tangki penyimpanan cenderung lebih berat karena volume yang diperlukan besar. Penyebabnya adalah densitas energi air rendah (Nadjib dan Suhanan, 2014).

Kelemahan SHS sebagai TES pada PATS dapat diminimalkan dengan penggunaan penyimpan kalor laten (*latent heat storage*, LHS). Penggunaan LHS dengan *phase change material* (PCM) memiliki keuntungan yaitu penyimpanan kalor tiap unit volume lebih besar jika dibandingkan dengan SHS serta pelepasan kalor terjadi pada temperatur konstan (Watanabe dan Kanzawa, 1995). Akan tetapi,

penggunaan LHS memiliki beberapa kelemahan yaitu konduktivitas termal dari PCM rendah akibatnya proses pengambilan dan pelepasan kalornya rendah (Watanabe dan Kanzawa, 1995). PCM dengan temperatur operasional antara 15 – 90°C cocok diaplikasikan pada sistem PATS (Farid dkk., 2004). Salah satu material yang dapat digunakan sebagai PCM pada PATS adalah *paraffin wax* (Nallusamy dkk, 2007). *Paraffin wax* memiliki beberapa karakteristik yang cocok jika digunakan pada PATS antara lain: densitas energi cukup tinggi (~200 kJ/kg)(Farid dkk., 2004), sifat kimia stabil hingga 1500 siklus termal (Sharma dkk., 2002).

Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian terkait dengan penggunaan PCM pada sistem PATS metode *outdoor*. Sistem PATS dilakukan dengan menggunakan sistem *openloop* dengan sirkulasi alami (Canbazoglu dkk., 2005). Sistem TES menggunakan *paraffin wax* sebagai media penyimpanan panas dengan proses *charging* dan *discharging* (Kaygusuz dan Sari., 2005). PCM dimasukkan dalam botol aluminium dan diletakkan di dalam tangki TES vertikal (Cabeza dkk., 2006). SHS dan LHS dikombinasikan sebagai material penyimpan kalor pada PATS aktif (Nallusamy dkk., 2007). Tangki TES diisi dengan dua buah PCM yang memiliki titik leleh berbeda (Lu dkk, 2018). Kolektor matahari digunakan sebagai sumber kalor dan dilakukan secara *outdoor* (Uctug dan Azapagic, 2018). Investigasi karakteristik proses *discharging* pada tangki PATS jenis *thermosyphon* yang berisi PCM (Nadjib dkk., 2018). Penelitian PATS menggunakan metode di dalam ruangan (*indoor*) pernah dilakukan oleh Nadjib dkk., (2020) dengan *heat flux* 1000 W/m² dan debit air konstan sebesar 2 LPM.

Stratifikasi termal merupakan lapisan-lapisan air yang memiliki perbedaan temperatur yang dapat terjadi pada tangki PATS. Mempertahankan stratifikasi termal sangat penting dalam hal kolektor dan pasokan air panas (Alizadeh, 1999). Semakin banyak tangki penyimpanan mempromosikan dan mempertahankan stratifikasi termal tingkat tinggi, maka efisiensi pengumpulan energi termal semakin meningkat (Abdelhak dkk., 2015). Penelitian dan analisis simulasi stratifikasi termal di tangki penyimpanan sudah dilakukan dengan hasil studi menunjukkan bahwa stratifikasi

termal dapat meningkatkan kinerja dari penyimpanan secara efektif (Han dkk., 2009). Akibat gravitasi dan efek apung, air dengan temperatur yang berbeda memiliki perbedaan. Air bertemperatur tinggi memiliki densitas yang rendah dan bergerak ke atas, sedangkan air bertemperatur rendah cenderung ke bawah. Stratifikasi termal ini dapat memisahkan cairan hangat dan dingin (Han dkk., 2009).

Penelitian pemakaian PCM pada PATS kebanyakan dilakukan untuk sistem aktif dengan tangki vertikal (sistem ini banyak diaplikasikan di negara non-tropis). Penelitian PATS-PCM sistem aktif dengan tangki *horizontal* menggunakan variasi jumlah kapsul 13, 17, dan 21 *paraffin wax* RT55 belum pernah dilakukan penyelidikan tentang pengaruh porositas tangki terhadap stratifikasi termal HTF di dalam tangki. Hipotesis penelitian adalah semakin besar porositas aliran HTF maka tingkat stratifikasi termal di dalam tangki TES semakin berkurang. Penelitian ini penting dilakukan untuk membuktikan hipotesis dan membantu pengembangan teknologi PATS berbasis PCM.

1.2. Rumusan Masalah

Stratifikasi termal memegang peranan penting terhadap kinerja PATS yaitu efisiensi termal. Sistem PATS dengan tangki porositas horizontal yang mempengaruhi keadaan PCM terhadap kapsul silinder untuk mewadahi PCM. Pemasangan kapsul tersebut belum diketahui pengaruhnya terhadap stratifikasi termal yang ada di dalam tangki. Oleh karena itu, penelitian terkait dengan porositas tangki terhadap stratifikasi termal 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 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 memperoleh distribusi temperatur HTF dan PCM di dalam tangki secara visual.
2. Untuk mendapatkan analisis startifikasi termal HTF di dalam tangki menggunakan bilangan Richardson.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

- a. Memberikan wawasan untuk dunia pendidikan tentang penggunaan LHS pada PATS.
- b. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi database tentang teknologi PATS jenis aktif untuk kelanjutan penelitian
- c. Penelitian ini dapat membantu kalangan industri dalam rangka pengembangan sistem PATS.