

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan pemanfaatan energi terbarukan merupakan upaya dalam menekan konsumsi energi fosil. Pemerintah melalui kebijakan energi nasional dan rencana umum energi nasional (RUEN) menargetkan capaian pemanfaatan energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 sebesar 23% dan 31% pada tahun 2050 untuk mendukung pemanfaatan energi terbarukan (KESDM 2017). Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar yaitu 442 GW yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Potensi tersebut belum dimanfaatkan secara optimal yang pemanfaatannya sebesar 8,8 GW atau 14% dari total potensi energi terbarukan Indonesia (KESDM 2018). Energi surya merupakan energi yang memiliki potensi paling besar untuk dapat dimanfaatkan. Indonesia sebagai negara tropis dan daerah khatulistiwa memiliki potensi energi surya sebesar 4,8 kWh/m² per hari (Widayana, 2012).

Salah satu upaya untuk menekan konsumsi energi fosil adalah dengan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar adalah energi matahari. Indonesia termasuk negara yang memiliki penyinaran matahari yang cukup lama mengingat keberadaannya di daerah katulistiwa. Besar energi rata-rata matahari yang diemisikan ke bumi sebesar $3,8 \times 10^{23}$ kW dan besar energi yang diterima bumi sebesar $1,8 \times 10^{14}$ kW, sedangkan sisanya dipantulkan kembali ke angkasa dan diserap oleh atmosfer (Thirugnanasambandam dkk., 2010). Energi matahari dapat dimanfaatkan baik dari sisi listrik maupun termal. Alat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dikenal dengan sel surya. Sel surya sudah banyak diaplikasikan antara lain untuk penerangan jalan dan pompa air. Pemanfaatan energi matahari selain sel surya adalah pemanas air tenaga surya. Pemanas air tenaga surya merupakan sebuah kumpulan perangkat atau alat pemanas

air yang sumber energinya berasal dari konversi radiasi matahari menjadi termal (Jamar dkk., 2016).

Perangkat pemanas air tenaga surya (PATS) umumnya terdiri dari kolektor surya untuk mengumpulkan radiasi dari surya, tangki penyimpanan energi termal (*thermal energy storage*, TES) untuk menyimpan energi termal, dan pipa-pipa sebagai penghubung (Mondol dkk., 2011). Berdasarkan sirkulasi fluida (air) perpindahan panas (*heat transfer fluid*, HTF), PATS dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu PATS sistem aktif dan PATS sistem pasif. PATS sistem aktif menggunakan bantuan beberapa perangkat lain seperti pompa listrik, katup, serta pengontrol untuk mengalirkan HTF (Parmar, 2017). Sedangkan PATS sistem pasif menggunakan sirkulasi air dari kolektor ke tangki atau sebaliknya yang terjadi secara konveksi alami.

Air digunakan secara luas sebagai penyimpanan kalor sensibel atau *sensible heat storage* (SHS) dalam sistem PATS. Air dipilih karena harganya murah dan konduktivitas termalnya baik, tetapi memiliki kelemahan rendahnya densitas energi sehingga membutuhkan volume besar dan membuat bobot tangki penyimpanan menjadi berat. (Suhanan dkk., 2017).

Penggunaan *latent heat storage* (LHS) dalam PATS berpotensi mengatasi kekurangan SHS dan membuat sistem penyimpanan termal dari energi matahari lebih efisien. LHS dengan PCM dapat menyimpan lebih banyak kalor per unit volume, sehingga membuat instalasi PATS lebih ringan. PCM sebagai LHS sangat menarik karena memiliki keunggulan dalam menyimpan dan melepaskan kalor, serta memiliki pengoperasian yang lebih baik dibandingkan dengan SHS karena fluktuasi suhunya yang rendah, ukuran yang lebih kecil, dan berat per unit yang lebih rendah (Nadjib dkk., 2020).

Berbagai jenis *phase change material* (PCM) seperti *paraffin*, *fatty acids*, dan *inorganic salt hydrates* telah dikembangkan untuk berbagai aplikasi. PCM temperatur operasional 15-90°C cocok untuk diterapkan pada sistem PATS. *Paraffin wax* populer digunakan sebagai PCM karena dapat menyimpan panas pada temperatur medium 30-90°C yang sesuai untuk sistem PATS (Farid dkk, 2004). Keunggulan *paraffin wax*

sebagai PCM antara lain densitas energi yang tinggi (~200 kJ/kg) (Farid dkk., 2004) sifat kimia stabil hingga 1500 siklus termal (Sharma dkk., 2002), tekanan uap rendah (Khan, 2016).

Porositas tangki adalah ukuran atau besar ruang tak terisi dalam suatu tangki, biasanya dalam bentuk celah atau lubang. Porositas tangki menentukan berapa banyak bahan cair atau gas yang dapat dimuat oleh tangki. Porositas biasa dijabarkan dalam skala antara 0 sampai 1, atau sebagai persentase antara 0% dan 100% (Michael dkk., 2010). Porositas tangki merupakan rasio perbandingan volume air di tangki yang berisi kapsul PCM dengan volume air tangki tanpa kapsul PCM (Ma dkk., 2014)..

Bilangan Stefan merupakan bilangan tak berdimensi yang didefinisikan sebagai rasio antara panas sensibel dengan panas laten pada saat proses perubahan fase (Trp, 2005). Bilangan Stefan (Stefan Number, Ste) dapat digunakan untuk menentukan bagaimana kalor diteruskan melalui suatu material dan pengaruh efisiensi energi dalam suatu sistem. Bilangan Stefan dikembangkan dari perhitungan laju perubahan fase cair menjadi es oleh Josef Stefan pada tahun 1969.

Penelitian terdahulu telah melakukan penelitian terkait penggunaan PCM pada PATS. PATS dikombinasikan dengan PCM untuk meningkatkan efektivitas TES radiasi matahari (Canbazoglu dkk., 2005). Sistem TES dengan *paraffin wax* sebagai media penyimpanan energi dengan proses *charging* dan *discharging* (Kaygusuz dan Sari, 2005). Bilangan Stefan dan ukuran jari-jari kapsul mempengaruhi perubahan fasa PCM (Regin dkk., 2006). SHS dan LHS dikombinasikan sebagai material TES pada PATS aktif (Nallusamy dkk., 2007). Eksperimen terhadap PCM yang dimasukkan dalam kapsul dan diletakkan pada tangki PATS konvensional, pengujian dilaksanakan pada kondisi *charging* dan *discharging* (Fazilati dan Alemrajabi, 2013). Penelitian yang dilakukan Nadjib (2016) terkait penggunaan *paraffin wax* yang diintegrasikan dengan air sebagai penyimpan kalor pada PATS thermosyphon. Perbandingan hasil numerik dan eksperimental membuktikan bahwa simulasi numerik dua dimensi peleburan PCM dalam kapsul vertikal dapat secara akurat memprediksi kedua cairan fraksi dan evolusi

temporal antarmuka padat-cair. (Kamkari, 2017). Tangki TES diisi dengan dua buah PCM yang memiliki titik leleh berbeda (Lu dkk., 2018). Tangki TES diisi dengan dua buah PCM yang memiliki titik leleh berbeda (Lu dkk., 2018). Nadjib dkk. (2019) telah melakukan penelitian terkait simulasi numerik terkait proses pelelehan paraffin wax pada unit TES tipe pipa ganda konsentrik yang bagian dalam pipa berisi PCM. 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.

Penelitian PCM pada PATS umumnya diletakan di luar ruangan (*outdoor*) dengan sumber energi surya secara langsung. Namun, penelitian dengan metode *outdoor* memiliki kelemahan yaitu intensitas matahari bersifat fluktuaktif, sehingga fenomena termal pada sistem PATS sulit untuk dievaluasi dengan beberapa parameter. Di sisi lain, penelitian penggunaan PCM pada PATS umumnya dilakukan untuk sistem aktif dengan tangki vertikal. Penelitian penggunaan PCM pada PATS sistem aktif untuk tangki horizontal dengan variasi porositas tangki belum pernah dilakukan.

Uraian di atas menjelaskan bahwa pengembangan sistem PATS dengan menggunakan PCM sebagai penyimpanan energi termal telah dilakukan. Penelitian terdahulu umumnya menggunakan PATS sistem aktif dengan posisi tangki vertikal. Parameter penting pada proses pelelehan PCM adalah Bilangan Stefan. Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan belum ada yang membahas tentang pengaruh porositas tangki terhadap bilangan Stefan pada tangki TES horizontal pada PATS-PCM sistem aktif. Harga bilangan Stefan sangat berpengaruh terhadap proses pelelehan *paraffin wax* dibandingkan dengan laju aliran massa (Satbhai dkk, 2019).. Hipotesis pada penelitian ini adalah semakin tinggi nilai porositas maka semakin rendah nilai bilangan Stefan. Penelitian ini penting dilakukan untuk menjawab dan membuktikan hipotesis serta menambah informasi tentang sistem PATS dan membantu pengembangan teknologi sistem PATS berbasis PCM.

1.2. Rumusan Masalah

Bilangan Stefan adalah salah satu parameter yang dapat mengevaluasi proses transfer kalor di dalam tangki PATS. Penelitian tentang pengaruh nilai porositas tangki terhadap bilangan Stefan pada tangki horisontal PATS-PCM sistem aktif yang menggunakan susunan kapsul tipe tumbuk belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh porositas tangki terhadap bilangan Stefan pada tangki PATS 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. Mendapatkan pola evolusi temperatur HTF dan PCM selama proses *charging*.
2. Memperoleh kajian tentang pengaruh porositas tangki PATS terhadap bilangan Stefan.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan wawasan dan informasi untuk dunia pendidikan dan penelitian tentang penggunaan LHS pada PATS.

2. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya terkait pengembangan teknologi PATS berbasis PCM sistem aktif.
3. Penelitian memantik dan membantu pelaku industri berbasis energi baru terbarukan dalam pengembangan sistem PATS.