

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi pada saat ini memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Energi merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional dan dipakai sebagai alat untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan. Selama ini penyangga utama kebutuhan energi masih mengandalkan minyak bumi. Seiring berjalannya waktu, minyak bumi menjadi semakin langka dan mahal. Akibat keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil di dunia, terjadi pergeseran dari penggunaan sumber energi tak terbarukan menuju sumber energi terbarukan (Widayana, 2012).

Indonesia adalah salah satu negara yang terletak di khatulistiwa, beriklim tropis dan sangat berpotensi untuk memanfaatkan energi matahari sebagai energi alternatif (Zainuddin, 2014). Setiap hari matahari akan bergerak mengikuti katulistiwa dan memancarkan energi dalam bentuk radiasi foton ke permukaan bumi. Matahari, yang jaraknya 150 km dari bumi, memancarkan energi dengan laju $3,8 \times 10^{20}$ MW dan yang sampai di permukaan bumi adalah sekitar $10,8 \times 10^{10}$ MW. Seandainya 0,1% saja energi ini dapat diambil dengan efisiensi 10% maka akan didapat daya listrik sebesar $10,8 \times 10^6$ MW atau lebih dari empat kali daya listrik yang saat ini dibangkitkan dunia, sekitar 3000 GW (Gultom, 2013). Ketersediaan energi matahari di Indonesia sangat melimpah. Intensitas radiasi matahari rata-rata di Indonesia adalah sebesar $4,8 \text{ kW/m}^2/\text{hari}$ (Kadang dan Windarta, 2021). Dengan demikian, energi matahari dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dalam rangka mengurangi konsumsi energi fosil. Keuntungan penggunaan energi matahari antara lain sifatnya yang selalu terbarukan dan tidak menimbulkan polusi udara sehingga ramah terhadap lingkungan (Shahsavari dan Akbari, 2018).

Pemanfaatan energi matahari menjadi energi termal dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung pada saat matahari cerah biasanya dapat digunakan sebagai pengering, pemanas udara, dan pemanas air

(Karman dkk, 2015). Secara tidak langsung energi matahari dapat dimanfaatkan dengan menambahkan media atau alat yang dapat mengkonversi energi matahari. Alat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik disebut dengan panel surya. Panel surya banyak diaplikasikan antara lain untuk penerangan jalan dan pompa air. Selain itu contoh penggunaan energi matahari menggunakan panel surya adalah *solar water heater* atau pemanas air tenaga surya (PATS). PATS merupakan sebuah teknologi yang mengubah radiasi matahari menjadi termal (Jamar dkk, 2016).

PATS pada umumnya terdiri dari panel kolektor radiasi matahari, tangki penyimpanan air panas, pompa, penukar panas, pipa sebagai penghubung, dan unit pemanas tambahan (Patel dkk, 2012). Berdasarkan sirkulasi cairan perpindahan panas (*heat transfer fluid*, HTF), PATS dibagi menjadi dua tipe yaitu sistem aktif dan sistem pasif (Ranjith dan Shaji, 2016). Sistem pasif menggunakan konveksi alami antara kolektor surya dengan tangki TES untuk mengalirkan HTF. Sebaliknya, sistem aktif menggunakan bantuan pompa listrik untuk dapat mengalirkan HTF (Gautam dkk, 2017). PATS selain sumber energinya cocok digunakan di Indonesia, sistem ini juga hemat listrik dan lebih aman serta sederhana dibandingkan dengan pemanas menggunakan energi lain. Cara kerja PATS adalah dengan memanfaatkan radiasi matahari langsung dan pantulan dari plat ke pipa yang dialiri oleh air selama selang waktu tertentu. Dengan demikian air yang terus menerus disirkulasikan akan mengalami kenaikan temperatur (Parinussa, 2016).

Pemanfaatan energi matahari sebagai PATS memiliki beberapa kelemahan, yaitu ketika cuaca mendung proses pemanasan air akan terganggu, selain itu pemanasan air tidak dapat digunakan saat malam hari, sehingga akan sulit untuk mempertahankan energi panas yang diterima oleh PATS (Ika Yuliyani dkk, 2016). Melihat ketidaksesuaian antara radiasi matahari yang masuk dan konsumsi air panas, maka perlu media menyimpan energi termal yang diserap (Fazilati dan Alemrajabi, 2013). Di sisi lain, air panas diperlukan setiap waktu, terlepas dari kondisi cuaca. Untuk mengatasi permasalahan dan ketidaksesuaian tersebut, maka sistem PATS perlu dilengkapi dengan media penyimpan termal (*thermal energy storage*, TES). TES merupakan tangki penyimpan yang berfungsi untuk

menyimpan energi panas, sehingga sistem akan tetap dapat melayani beban pemakaian meskipun *supply* energi panas matahari tidak ada (Pikra dan Salim, 2011).

Media penyimpanan panas dapat dibagi atas dua tipe, yaitu penyimpan kalor sensibel (*sensible heat storage*, SHS) dan penyimpan kalor laten (*latent heat storage*, LHS) (Gultom, 2013). SHS berupa air biasa yang digunakan pada PATS dan terbukti handal, hal ini disebabkan air harganya murah dan memiliki karakteristik perpindahan kalor yang baik (Hasan, 1994). Namun begitu, penggunaan air ini memiliki kelemahan, antara lain: berpotensi menimbulkan masalah seperti korosi dan kebocoran, mempunyai kerapatan energi yang rendah, pelepasan energinya terjadi pada kisaran temperatur yang lebar, dan cenderung memiliki karakteristik sistem yang berat (Nadjib, 2016).

Kelemahan penggunaan SHS pada PATS dapat diminimalisir dengan memakai LHS. TES yang menggunakan LHS sebagai *phase change material* (PCM) memiliki keunggulan nilai kalor dan densitas yang lebih tinggi, hal tersebut mengakibatkan LHS memiliki nilai volume yang lebih kecil untuk kapasitas penyimpanan energi termal yang sama. Volume LHS yang lebih kecil akan lebih efisien jika digunakan untuk kapasitas yang lebih besar, sehingga LHS sangat baik digunakan untuk sistem PATS dengan kapasitas yang besar (Pikra dan Salim, 2011). Namun demikian, kelemahan dari LHS yaitu memiliki pelepasan dan kecepatan proses pengambilan kalornya rendah yang disebabkan oleh rendahnya konduktivitas termal dari PCM (Nadjib, 2016).

PCM dapat meningkatkan performa PATS karena dapat mengurangi *heat loss* pada TES. Dengan demikian TES dapat menyerap energi termal lebih efektif daripada tanpa menggunakan PCM (Sulastri dkk, 2019). Diantara berbagai jenis PCM, *paraffin wax* memiliki beberapa sifat yang baik dan cocok digunakan sebagai penyimpanan energi termal pada sistem PATS (Feliński dan Sekret, 2016). Secara ekologis *paraffin wax* memiliki sifat tidak berbahaya, tidak beracun, dan murah (Pithabhai, 2019); serta sifat termalnya konstan dibawah 500°C (Sharma dkk, 2009). *Paraffin wax* memiliki karakteristik densitas energi cukup tinggi (~200 kJ/kg), namun konduktivitas termalnya rendah (~ 0,2 W/m.°C). PATS dengan

temperatur operasi kisaran antara 15-90°C cocok menggunakan *paraffin wax* sebagai PCM dikarenakan karakteristik yang dimilikinya (Farid dkk, 2004).

Kapasitas pengumpulan energi termal merupakan jumlah energi termal yang dapat disimpan secara teoritis di dalam tangki TES yang bersumber dari HTF, PCM, tangki, dan kapsul. Kapasitas energi termal yang tersimpan tersebut terdiri dari kalor sensibel HTF, kalor sensibel PCM, kalor laten PCM, kalor sensibel tangki, dan kalor sensibel dari kapsul. Perhitungan kapasitas pengumpulan energi termal yaitu berdasarkan temperatur awal dan temperatur akhir baik HTF, PCM, tangki, dan kapsul. Parameter penting dalam menghitung kapasitas pengumpulan energi termal diantaranya adalah temperatur pelelehan dan kalor peleburan. Oleh karena itu pemilihan PCM yang tepat akan menghasilkan kapasitas pengumpulan energi termal yang optimal (Nadjib, 2016).

Penelitian terkait tentang penggunaan *paraffin wax* sebagai PCM pada sistem PATS telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Penggunaan *paraffin wax* sebagai penyimpan kalor pada PATS *thermosyphon* (Nadjib, 2016). Proses *charging* dan *discharging* TES pada PATS menggunakan *paraffin wax* sebagai PCM (Kanimozhi dkk, 2017). Eksperimen tentang kinerja PATS dengan atau tanpa menggunakan PCM (Wu dkk, 2018). Studi eksperimental perilaku termal pada proses peleburan *paraffin wax* dalam kapsul berbentuk silinder (Ansyah dkk., 2018). Sulastri dkk, (2019) meneliti tentang pengaruh penambahan PCM pada PATS kolektor tabung dilengkapi dengan reflektor *double-u*. Pengukuran laju pelepasan kalor pada tangki PATS dengan pipa berisi campuran *paraffin wax* dan serbuk tembaga 10% (Santosa dan Yustianto, 2020). Prianto dkk, (2021) melakukan penelitian dengan menganalisis pemanfaatan paraffin di *thermal energy storage* pada PATS. Kinerja termal PATS sistem aktif berbahan penyimpan energi air dan *paraffin wax* dengan variasi *heat flux* (Nadjib dkk, 2022).

Penelitian terdahulu belum ada yang secara khusus membahas tentang pengaruh debit aliran HTF terhadap kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki horisontal PATS-PCM sistem aktif. Penelitian penggunaan PCM pada PATS kebanyakan dilakukan dengan metode *outdoor* menggunakan tangki vertikal. Penelitian PATS-PCM sistem aktif dengan tangki horisontal menggunakan susunan

kapsul tipe tumbuk dengan jumlah kapsul 21 buah, *paraffin wax* RT55 belum pernah dilakukan dalam hal penyelidikan tentang pengaruh debit aliran terhadap kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki. Hipotesis dari penelitian ini adalah semakin besar debit aliran HTF maka semakin besar pula kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki TES. Penelitian ini penting dilakukan untuk membuktikan hipotesis dan membantu pengembangan teknologi PATS berbasis PCM di masa mendatang.

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian tentang PATS sudah dilakukan oleh para peneliti dengan menggunakan PCM sebagai media penyimpanan termal. Penelitian tersebut juga bervariasi, dengan metode *outdoor* maupun *indoor*. Metode tersebut masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan. Intensitas radiasi matahari menggunakan metode *outdoor* bersifat fluktuatif sehingga sulit untuk melakukan pengamatan terhadap suatu parameter PATS. Di sisi lain, penelitian tentang kapasitas pengumpulan energi termal pada sistem PATS-PCM dengan tangki horisontal dan variasi debit aliran HTF menggunakan susunan kapsul tipe tumbuk belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian terkait dengan pengaruh variasi debit aliran HTF terhadap kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki PATS-PCM sistem aktif selama proses *charging* perlu dilakukan.

1.3. Asumsi dan Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan asumsi dan batasan masalah sebagai berikut.

1. Kapsul PCM berisi *paraffin wax* dianggap bersifat homogen.
2. Sifat fisis *paraffin wax* mengacu pada data dari pabrik pembuat.
3. Laju aliran massa dianggap konstan.
4. *Heat flux* yang dihasilkan *solar simulator* dianggap konstan.
5. Pengambilan data dilakukan dengan menganggap aliran air telah tunak.
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 kajian kontribusi kalor sensibel dan kalor laten dalam penyimpanan energi termal di dalam tangki.
2. Untuk mendapatkan karakteristik pengaruh perubahan debit aliran HTF terhadap kapasitas penyimpanan energi termal di dalam tangki.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan wawasan untuk dunia pendidikan tentang penggunaan LHS pada PATS.
2. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi *database* tentang teknologi PATS jenis aktif.
3. Penelitian ini dapat membantu dunia industri dalam pengembangan sistem PATS.