

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dinamika kehidupan di Indonesia tidak bisa dipisahkan dari energi, tanpa disadari beberapa sektor yang sering kita jumpai atau bahkan kita gunakan untuk menunjang kehidupan sehari-hari misalnya sektor transportasi, industri, dan rumah tangga dimana tiga sektor tersebut menyumbang kebutuhan energi terbesar di antara sektor lainnya. Selain tiga sektor tersebut Indonesia masih memiliki sektor lain yang tentunya memerlukan kebutuhan energi yang besar, namun yang menjadi atensi adalah sumber bahan bakar yang digunakan dengan kebutuhan energi yang besar. Bahan bakar fosil masih menjadi tumpuan sebagai bahan bakar yang sering digunakan dalam menghasilkan energi di Indonesia.

Energi surya adalah sangat luar biasa karena tidak bersifat polutif, tidak dapat habis, dapat dipercaya dan tidak membeli. Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi dari matahari (Widiyana, 2012). Radiasi matahari rata-rata pada lapisan atmosfer terluar diperkirakan mencapai $1,373 \text{ Watt/m}^2$. Sedangkan daya maksimum sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi sebesar 1000 W/m^2 (Liun, 2011). Sumber energinya yang mudah di dapat dan ramah lingkungan menjadikan energi surya sebagai salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi untuk menggantikan energi bahan bakar fosil yang semakin menipis.

Teknologi energi surya secara umum dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu teknologi pemanfaatan pasif dan teknologi pemanfaatan aktif. Klasifikasi ini bergantung pada bagaimana energi matahari diserap, diubah, dan disalurkan. Contoh penggunaan energi matahari secara aktif termasuk penggunaan panel fotovoltaik. Sedangkan pemanfaatan secara pasif adalah mengorientasikan bangunan menghadap matahari dan merancang ruangan dengan sirkulasi udara alami.

Pemanas air tenaga surya (PATS) adalah teknologi energi terbarukan yang memanfaatkan energi matahari untuk memanaskan air untuk keperluan rumah tangga, komersial, atau industri. Ia bekerja dengan menyerap energi matahari melalui panel surya, yang kemudian mentransfer panasnya ke air yang disimpan dalam tangki. SWH (*Solar Water Heater*) umumnya terdiri dari panel pengumpul radiasi matahari, tangki penyimpanan, pompa, penukar panas, unit perpipaan, dan unit pemanas tambahan (Patel dkk., 2012). Ketika radiasi matahari melewati kaca transparan atau tabung yang dievakuasi dan menimpa permukaan kolektor yang tinggi penyerapan, sebagian besar energi diserap oleh kolektor dan kemudian dipindahkan ke fluida untuk diangkut dalam pipa (Wang dkk., 2015). Dibandingkan dengan sistem pasif, efisiensi PATS tipe aktif adalah 35% dan 80% (Jabbar N & Khafila, 1998). Sedangkan efisiensi PATS tipe pasif berkisar antara 30%-51,9% (Nahar, 2002). Keuntungan lain adalah bahwa kolektor dalam sistem aktif tidak perlu terlalu dekat dengan tangki. Oleh karena itu, sistem sistem aktif dapat digunakan untuk bangunan bertingkat (Wang dkk., 2015).

Pemanfaatan energi matahari untuk menghasilkan listrik atau panas tergantung pada kondisi cuaca. Sistem yang menggunakan energi matahari, seperti panel surya atau kolektor surya, membutuhkan paparan sinar matahari yang cukup untuk menghasilkan energi yang signifikan. Cuaca yang cerah dan cuaca tanpa awan adalah kondisi ideal untuk memaksimalkan pemanfaatan energi matahari. Oleh karena itu, diperlukan penambahan TES (*Thermal Energy Storage*) dalam sistem pemanas air untuk menyimpan energi panas dan mengatasi fenomena ini.

PATS konvensional menggunakan air sebagai *Sensible Heat Storage* (SHS). Penggunaan SHS menjadi metode umum dan dapat diandalkan karena sifatnya yang mudah diimplementasikan, memiliki efisiensi yang baik, dan mampu memenuhi kebutuhan air panas sehari-hari dengan baik. Selain itu, SHS yang menggunakan air cenderung memiliki sistem yang berat. 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 LHS (*Latent Heat Storage*) membantu meminimalkan kekurangan penggunaan SHS pada PATS. Penyimpanan jenis ini berpotensi

menghasilkan sistem penyimpan termal dari energi matahari yang *compact* dan efisien. 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. Namun, kelemahan bahan LHS adalah konduktivitas termal yang rendah yang menghasilkan kapasitas daya yang lebih rendah. Studi berbeda dalam literatur bekerja pada peningkatan panas transfer (Javadi dkk., 2020).

PCM adalah bahan perubahan fase adalah zat yang menyerap dan melepaskan energi panas ketika mereka mengubah fase dikenal sebagai panas laten. *Paraffin wax* adalah PCM yang sering dipilih untuk aplikasi dalam TES sebagai bahan penyimpan energi panas. *Paraffin wax* menawarkan keuntungan seperti proses perubahan fasa yang dapat dibalik, kapasitas panas laten yang tinggi, dan suhu perubahan fasa yang cocok untuk sistem pemanas matahari. Namun, *paraffin wax* memang memiliki kelemahan, yaitu konduktivitas termalnya yang rendah, yang menyebabkan proses perpindahan panas menjadi terbatas. Pengkapsulan PCM didalam kapsul dapat meningkatkan perpindahan kalor. Penggunaan kapsul dapat meningkatkan luas permukaan perpindahan kalor sehingga aliran kalor lebih besar (Nadjib dkk., 2022). Salah satu parameter dalam proses pelelehan PCM adalah bilangan Stefan.

Bilangan Stefan adalah salah satu dari banyak bilangan tak berdimensi, umumnya digunakan dalam bidang teknik kimia dan masalah perpindahan kalor dan massa. Fungsi utamanya adalah menghubungkan kalor sensibel dengan kalor laten, dan bilangan ini menjadi parameter penting dalam memecahkan masalah perpindahan kalor selama proses pemadatan atau pencairan bahan (Ziegler, 2010).

Sebelumnya, beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan PCM dalam PATS sistem aktif. Eksperimen terhadap PCM yang dimasukkan dalam kapsul dan diletakkan pada tangki PATS konvensional, pengujian dilaksanakan pada kondisi *charging* dan *discharging* (Avargani dkk., 2021). Sistem TES dengan *paraffin wax* sebagai media penyimpanan energi dengan proses *charging* dan *discharging* (Kaygusuz & Sari, 2005). Pemakaian modul PCM

pada tangki air panas untuk pemanas air domestik menghasilkan air panas dengan waktu pemakaian yang lebih lama (Cabeza dkk., 2006). Pemakaian PCM memberikan peningkatan unjuk kerja termal pada tangki PATS (Mazman dkk., 2009). Prestasi termal penggunaan kombinasi material penyimpan kalor laten dan penyimpan kalor sensibel lebih baik daripada sistem PATS konvensional (Nallusamy dkk., 2006). Laju aliran massa dan temperatur air masuk tangki yang berisi PCM dengan kapsul aluminium silindris berpengaruh besar pada saat *charging* (Padmaraju dkk., 2008). Kapsul berisi *paraffin wax* dimasukkan ke dalam tangki PATS dan disimpulkan bahwa temperatur air meningkat lebih cepat pada posisi tangki yang lebih tinggi (Kanimozhi & Bapu, 2012). Efisiensi sistem PATS meningkat secara signifikan karena adanya PCM (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 W/m^2 dan debit air konstan sebesar 2 LPM (Liter Per Menit).

Penelitian pemakaian PCM pada PATS kebanyakan dilakukan untuk sistem aktif dengan tangki vertikal sistem ini banyak diaplikasikan di negara non-tropis. 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 horizontal pada sistem PATS-PCM dengan sistem aktif berisi *paraffin wax*. Penelitian ini melanjutkan penelitian terdahulu yang menggunakan tangki TES horizontal, sistem PATS aktif, dan menggunakan jumlah kapsul 29 buah dengan variasi debit air 2,3, dan 4 LPM serta *heat flux* 800 W/m^2 , 1000 W/m^2 , dan 1200 W/m^2 . Penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa debit air yang lebih tinggi dapat meningkatkan harga bilangan Stefan dan meningkatkan jumlah energi yang disimpan.

Penelitian ini memiliki arti penting untuk membuktikan hipotesis tersebut, serta memberikan informasi tambahan tentang PATS dan membantu dalam pengembangan teknologi PATS berbasis PCM.

1.2. Rumusan Masalah

PATS berbasis PCM melibatkan kalor sensibel dan kalor laten selama proses pemanasan. Parameter yang menggambarkan perbandingan kapasitas termal antara PCM yang meleleh dengan kalor laten adalah bilangan Stefan. Semakin tinggi bilangan Stefan, proses pelelehan semakin cepat. Sejauh ini, penelitian tentang bilangan Stefan pada PATS berbasis PCM sangat terbatas. Penelitian bilangan Stefan untuk aplikasi PATS dengan susunan kapsul horizontal tipe tumbuk di dalam tangki dengan variasi *heat flux* dan debit aliran air belum pernah diungkap. Penelitian ini perlu dilakukan untuk menginvestigasi pengaruh *heat flux* dan debit aliran terhadap bilangan Stefan.

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 ini hanya difokuskan pada tangki PATS-PCM selama proses *charging*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

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

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam meningkatkan pemahaman dan pengetahuan tentang penggunaan LHS pada PATS, baik dalam konteks pendidikan maupun bagi masyarakat secara umum.
2. Harapan dari hasil penelitian ini adalah agar dapat dijadikan sebagai panduan untuk penelitian berikutnya dalam mengembangkan produk PATS-PCM yang lebih inovatif dan efisien.
3. Penelitian ini dapat membantu kalangan industri dalam rangka pengembangan sistem PATS.