

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia sebagai negara dengan iklim tropis mengalami radiasi matahari yang sangat kuat hampir sepanjang tahun, ini menjadikan Indonesia memiliki potensi sumber daya yang sangat prospektif untuk dikembangkan. Data yang diambil selama 1 tahun pada tahun 2024 dari *website* NASA POWER (Data Acces Viewer (DAV) 2024) menunjukkan potensi radiasi matahari yang ada di Indonesia, tepatnya di Rawamangun, Jakarta menunjukkan rata-rata radiasi matahari harian adalah 191.32 W/m^2 dan radiasi puncaknya adalah 945 W/m^2 yang terjadi sekitar pukul 12.00. Namun, potensi besar ini belum dimanfaatkan secara maksimal, data dari kementerian ESDM (2022) menunjukkan penggunaan Energi Terbarukan hanya mencapai 12,3% dari total konsumsi energi.

Pemanfaatan energi surya secara masif ini masih dihadapkan pada sebuah tantangan fundamental, yaitu sifatnya yang intermiten. Intermiten adalah energi ini melimpah pada siang hari, tetapi sangat terbatas pada malam atau ketika cuaca sedang mendung. Hal ini menciptakan kesenjangan antara ketersediaan dan kebutuhan energi. Berdasarkan (Zhelezny et al. 2025), tanpa adanya sistem penyimpanan yang efektif, surplus energi yang dihasilkan saat produksi maksimum tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Teknologi *Thermal Energy Storage* (TES) hadir sebagai solusi untuk menyimpan surplus energi panas ketika ketersediaan tinggi, dan kemudian dapat digunakan kembali saat ada peningkatan permintaan. Sistem TES yang menggunakan material *Phase Change Material* (PCM) telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya maupun sistem pendinginan, karena dapat menyimpan energi dalam bentuk panas laten dengan kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan panas sensibel (Kant, Shukla, and Sharma 2017). Di antara berbagai PCM, parafin banyak digunakan karena kestabilannya, ketersediaan tinggi, dan sifat kimia yang tidak reaktif. Namun, parafin memiliki kelemahan besar berupa konduktivitas termal yang rendah (0,2

W/m.K), yang membatasi laju perpindahan panas selama proses pengisian dan pelepasan (Zhang and Fang 2006).

Untuk mengatasi kekurangan parafin, berbagai studi telah mengusulkan penambahan material konduktif seperti grafit. Grafit memiliki konduktivitas termal tinggi (hingga 200 W/m.K), ringan, dan stabil secara kimia, sehingga cocok digunakan sebagai *thermal conductivity enhancer*. Penelitian (Zhelezny et al. 2025) menunjukkan bahwa penambahan *expanded graphite* (EG) dalam parafin dapat meningkatkan laju pengisian hingga 2-2,5 kali lebih cepat dibandingkan parafin murni. Sementara (Sharma et al. 2015) melaporkan peningkatan efisiensi penyimpanan energi hingga 45% dengan fraksi massa grafit 10%. Ini menunjukkan potensi besar penggunaan grafit dalam meningkatkan kinerja TES berbasis parafin.

Meskipun banyak penelitian telah menunjukkan peningkatan performa TES akibat penambahan grafit, tetapi hasil yang didapat masih tidak konsisten. Seperti penelitian yang dilakukan oleh (Li et al. 2022) melakukan *penambahan Expanded Graphite* dengan fraksi masa 10 wt% EG. Hasilnya konduktivitas termal meningkat secara signifikan, dari 0,20 W/m.C (parafin murni) menjadi 7,06 W/m.C. Namun, peningkatan konduktivitas diikuti oleh penurunan kapasitas penyimpanan energi laten. Sementara penelitian yang dilakukan oleh (Lachheb et al. 2014) melakukan pencampuran Parafin dengan *Synthethic Graphite Powder* (SFG75) dengan fraksi masa 5, 10, 15, dan 20 wt% dengan menggunakan metode pencampuran *Cold-uniaxial compression method*, dari penelitian tersebut ditemukan panas laten hanya berkurang 14% dari parafin murni pada fraksi massa 20% dan waktu pelelehan berkurang 18,18% pada fraksi massa 15%. Di sisi lain, penelitian yang dilakukan oleh (Negi et al. 2025) menggabungkan pendekatan eksperimental dan *machine learning* untuk optimasi komposisi PCM komposit *Paraffinn Wax* dan *Expanded Graphite* dengan fraksi masa 1, 2, 3, 5, dan 7.5 wt% dengan pengujian menggunakan metode *Heat Transfer Fluid*, hasil dari penelitian tersebut ditemukan bahwa pada komposisi 5 wt% EG waktu pelelehan berkurang dari 110 menit menjadi 20 menit dan total PCM *Heat Stored* dapat dipertahankan 95% dari Parafin murni. Sementara itu, penelitian lokal yang dilakukan oleh (Suwandi et al. 2021) membahas rancang bangun *bed storage* berbasis parafin dan serbuk besi tanpa optimasi komposisi konduktif. Oleh karena itu, dilakukan validasi eksperimental

yang komprehensif menggabungkan pengujian karakteristik material (DSC) dan kinerja sistem aktual untuk memastikan titik optimum yang menjembatani kesenjangan antara prediksi teoritis dan kinerja fisik di lapangan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan grafit terhadap sifat termofisik dan kinerja termal pada sistem TES berbasis parafin. Penelitian ini berfokus untuk mengevaluasi pengaruh fraksi grafit terhadap dua parameter utama kinerja TES yaitu sifat termofisik dan kinerja termal dalam kondisi eksperimental yang dikontrol secara sistematis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis secara eksperimental pengaruh variasi fraksi massa grafit terhadap sifat termofisik dan kinerja termal pada sistem TES berbasis parafin. Motivasi dari penelitian ini adalah berlimpahnya panas matahari di Indonesia khususnya di Jakarta serta energi terbarukan yang bersifat intermiten masih menjadi masalah dalam mendukung transisi energi bersih di Indonesia. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan material penyimpanan panas dengan laju perpindahan panas tinggi yang cocok untuk aplikasi energi terbarukan di Indonesia.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang yang telah disampaikan sebelumnya, peneliti dapat mengidentifikasi masalah berikut:

1. Adanya panas matahari yang sangat berlimpah yang ada di Indonesia, khususnya di Jakarta, tetapi belum digunakan dengan maksimal.
2. Energi terbarukan yang bersifat intermiten, sehingga memerlukan sistem penyimpanan energi yang efektif untuk menjaga kontinuitas pasokan energi.
3. Sistem *Thermal Energy Storage* (TES) dengan *Phase Change Material* (PCM) seperti parafin memiliki potensi besar untuk menyimpan energi panas, namun efisiensinya terbatas oleh rendahnya konduktivitas termal efektif parafin.
4. Penambahan grafit berpotensi meningkatkan konduktivitas termal efektif pada parafin, tetapi semakin banyak penambahan grafit dapat mengurangi kapasitas penyimpanan energi panas pada sistem.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini fokus dan dapat dilakukan secara sistematis, maka ruang lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut:

1. Parafin yang digunakan dalam penelitian ini adalah Parafin Wax.
2. Grafit yang digunakan sebagai campuran adalah *Graphite Powder* dengan fraksi massa 0 wt%, 5 wt%, 10 wt%, dan 15 wt%.
3. Sifat termofisik yang dikaji hanya meliputi Kapasitas Panas Spesifik (c_p), Temperatur Leleh (T_m), dan Nilai Kalor Laten (ΔH) yang diuji menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).
4. Kinerja termal yang dikaji pada *Thermal Energy Storage System* hanya meliputi kapasitas penyimpanan panas dan efisiensi pengisian TES.
5. Proses pengujian kinerja termal dibatasi pada rentang temperatur yang ditentukan, yaitu dari fasa padat (30°C) hingga meleleh sempurna (77°C).

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan pembatasan masalah di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu “Bagaimana pengaruh penambahan grafit terhadap sifat termofisik (c_p , ΔH , dan T_m) Parafin dan campuran Parafin dengan Grafit berdasarkan uji DSC dan kapasitas penyimpanan panas pada sistem TES berbasis parafin?”.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis secara eksperimental pengaruh penambahan grafit terhadap sifat termofisik Parafin dan campuran Parafin dengan Grafit.
2. Menganalisis secara eksperimental pengaruh penambahan grafit terhadap kinerja termal pada sistem uji TES berbasis parafin.
3. Menentukan komposisi grafit optimum yang dapat mempercepat proses perpindahan panas PCM tanpa mengorbankan kapasitas penyimpanan energi panas secara signifikan pada sistem TES.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Diharapkan dari penelitian ini memperdalam pemahaman, pengetahuan, dan pengalaman mahasiswa mengenai perancangan, perhitungan, dan pengujian pengaruh grafit pada sifat termofisik dan kinerja termal sistem TES berbasis parafin.
2. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membantu mempertimbangkan pemilihan salah satu fraksi masa grafit pada sistem TES berbasis parafin.
3. Penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan pengetahuan penelitian tentang pengaruh penambahan grafit terhadap kinerja TES berbasis parafin.

