

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan energi di berbagai sektor telah mendorong pengembangan sistem penyimpanan energi yang mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi. Salah satu teknologi penyimpanan yang berkembang pesat adalah *thermal energy storage* (TES). TES dinilai mampu menghemat energi, meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem dengan menghilangkan perbedaan antara pasokan dan permintaan energi (Jouhara et al., 2020). Dalam sistem TES, *phase change material* (PCM) menjadi salah satu material yang potensial karena mampu menyerap dan melepaskan sejumlah energi dalam jumlah besar melalui proses perubahan fase pada temperatur yang relatif konstan. Karakteristik tersebut membuat PCM banyak dikaji untuk berbagai aplikasi, seperti pengaturan suhu bangunan, sistem pendinginan pasif, pemanas air tenaga surya, dan penyimpanan energi termal suhu rendah hingga menengah (Thonon et al., 2021).

Di antara berbagai jenis PCM, garam hidrat seperti $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ banyak diteliti karena memiliki kalor laten dan konduktivitas termal yang tinggi, perubahan volume yang relatif kecil selama proses transisi fasa, mudah diperoleh, memiliki tingkat toksisitas yang rendah, serta biaya yang relatif ekonomis (Usna et al., 2021). Namun demikian, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ masih menghadapi kendala teknis berupa *incongruent melting* yang menyebabkan pemisahan fase akibat sedimentasi kristal sehingga terbentuknya $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Fenomena ini secara ireversibel mengurangi kapasitas penyimpanan energi dan daya tahan material dalam penggunaan jangka panjang (Carlsson, 2009; Thakkar et al., 2022).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan performa termal $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, salah satunya melalui penambahan zat aditif. $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ banyak digunakan sebagai *nucleating agent* karena memiliki kesesuaian struktur dengan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Kesesuaian struktur kristal antara kedua garam hidrat tersebut mempercepat inisiasi pembekuan dan menghasilkan siklus termal yang lebih stabil. Sementara itu, KCl diketahui berperan dalam memengaruhi keseimbangan sistem garam hidrat dan dapat mengurangi kecenderungan terbentuknya fase tetrahidrat yang bersifat tidak reversibel selama proses pembekuan–pencairan berulang.

Dengan kata lain, KCl membantu menjaga keseimbangan dinamis antara fase heksahidrat dan tetrahidrat agar tetap mengikuti prediksi diagram fasa termodinamika (Carlsson, 2009; Thakkar et al., 2022; Yan et al., 2023).

Selain itu, aspek keberlanjutan material merupakan pertimbangan utama dalam pengembangan PCM modern. Oleh karena itu, sangat penting untuk menemukan PCM alternatif yang ramah lingkungan dan berbasis bahan alami, terutama dari limbah organik yang melimpah tapi belum dimanfaatkan secara efektif. Salah satu sumber kalsium karbonat (CaCO_3) yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku adalah limbah cangkang telur. Kandungan CaCO_3 yang tinggi menjadikan limbah tersebut menarik untuk dikembangkan sebagai *phase change material* (PCM) berbasis $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Dhiyaulhaq et al., 2023).

Banyak penelitian telah dilakukan untuk membuat pengembangan PCM berbasis $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, tetapi sebagian besar penelitian masih berfokus pada menggunakan bahan kimia murni. Sementara itu, belum ditemukan penelitian yang sama dengan memanfaatkan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ hasil sintesis dari limbah cangkang telur serta penambahan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan KCl. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan *research and development* (R&D) dengan model 4D (*define, design, develop, dan disseminate*). Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan tahapan pengembangan material secara sistematis, mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan formulasi, proses sintesis dan karakterisasi, hingga penyajian hasil pengembangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan dalam menyintesis dan mengarakterisasi PCM berbasis $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang berasal dari limbah cangkang telur dengan penambahan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan KCl. Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif material PCM berbasis limbah cangkang telur yang berpotensi mendukung pemanfaatan limbah sebagai sumber bahan baku serta pengembangan material penyimpanan energi termal yang lebih berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik material hasil preparasi dan sintesis dari bubuk cangkang telur sebagai *phase change material* (PCM)?

2. Bagaimana sifat termal *phase change material* (PCM) $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ berbahan dasar limbah cangkang telur dengan penambahan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan KCl?
3. Bagaimana pengaruh penambahan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan KCl terhadap karakteristik PCM $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ berbahan dasar limbah cangkang telur?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik material hasil preparasi dan sintesis dari limbah cangkang telur sebagai *phase change material* (PCM).
2. Menganalisis sifat termal $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ berbahan dasar limbah cangkang telur dengan penambahan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan KCl sebagai PCM.
3. Mengkaji pengaruh penambahan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan KCl terhadap karakteristik PCM $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ berbahan dasar limbah cangkang telur.

1.4 Kegunaan Penelitian

1. Secara teoritis, penelitian ini berkontribusi dalam mengembangkan material *phase change material* (PCM) berbasis $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang disintesis dari limbah cangkang telur. Selain itu, hasil kajian mengenai proses sintesis material berbasis limbah biomassa serta karakterisasinya melalui pengujian FTIR, XRD, dan DSC, sehingga dapat memberikan kontribusi ilmiah sebagai dasar pengembangan penelitian di bidang material penyimpanan energi termal.
2. Secara praktis, penelitian ini membuka peluang penggunaan limbah cangkang telur sebagai bahan baku dalam sintesis $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang lebih ekonomis dan berkelanjutan, sehingga dapat menekan ketergantungan terhadap bahan kimia komersial murni serta meningkatkan nilai tambah limbah biomaterial.