

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi dan jahe merupakan dua komoditas pertanian strategis Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan potensi besar untuk dikembangkan menjadi produk olahan bernilai tambah. Kombinasi kopi dan jahe menjadikan produk kopi jahe instan sebagai minuman fungsional yang menjanjikan untuk dikembangkan (Ramadani,*et.al.*,2025). Produksi minuman kopi jahe instan berbentuk serbuk melibatkan beberapa tahapan penting, seperti ekstraksi, pemanasan, pengadukan, kristalisasi, hingga pengemasan. Selama proses tersebut, sejumlah faktor seperti suhu, waktu pemasakan, dan konsentrasi bahan terlarut, khususnya gula, sangat memengaruhi kualitas akhir produk (Garuda & Rejeki, 2025). Salah satu tahap krusial dalam proses tersebut adalah kristalisasi, yaitu proses pembentukan partikel padat (kristal) dari larutan homogen, di mana selama pemasakan air menguap dan gula mengkristal dengan cepat (Umami, *et.al.*, 2025). Produk kopi jahe instan yang diproses melalui metode kristalisasi memiliki beberapa keunggulan, antara lain mudah larut dalam air panas, praktis dalam penyajian, memiliki permukaan serbuk yang luas, serta daya simpan yang tinggi karena kadar air yang rendah (Jiang *et al.*, 2025). Kristalisasi banyak digunakan dalam industri pangan karena efektif dalam menghasilkan senyawa dalam bentuk murni dan memperbaiki sifat fisik produk sehingga lebih stabil dalam penyimpanan dan distribusi (Zhang, Y., 2023).

Proses kristalisasi mencakup dua tahap utama, yaitu pembentukan inti kristal (nukleasi) dan pertumbuhan kristal. Suhu pemanasan yang tinggi dapat mempercepat tercapainya kondisi lewat jenuh, sehingga inti kristal terbentuk lebih cepat, memperpendek waktu induksi, dan mempercepat laju pertumbuhan kristal sampai kadar air turun di bawah ambang kritis. Salah satu faktor penting yang memengaruhi proses ini adalah keberadaan gula, khususnya sukrosa, yang dikenal sebagai agen pembentuk kristal dan diketahui dapat meningkatkan konsentrasi larutan, mempercepat pembentukan inti kristal, serta memberikan pengaruh positif terhadap kelarutan dan sifat organoleptik produk akhir (Schugmann & Foerst, 2024). Untuk memahami laju pembentukan kristal pada proses pembuatan kopi jahe

instan, diperlukan kajian mendalam mengenai kinetika kristalisasi dengan mempertimbangkan parameter suhu, waktu, dan konsentrasi bahan terlarut, yang menjadi aspek krusial dalam merancang proses yang efisien dan dapat dijadikan dasar pengembangan ke skala industri (Mursalin *et al.*, 2019). Pendekatan yang digunakan adalah pemodelan kinetika kristalisasi, dengan data yang diperoleh dari pengamatan perubahan fraksi kristal selama proses, dihitung berdasarkan pengukuran kadar padatan terlarut ($^{\circ}\text{Brix}$), serta diperkuat parameter pendukung seperti berat jenis larutan, suhu, dan pH. Peningkatan nilai $^{\circ}\text{Brix}$ selama pemanasan menjadi indikator penting kondisi supersaturasi larutan selama kristalisasi, sehingga penelitian ini memanfaatkan perubahan nilai $^{\circ}\text{Brix}$ sebagai dasar analisis pembentukan fraksi kristal dan kinetika kristalisasi minuman serbuk instan kopi jahe, karena mampu merepresentasikan perubahan konsentrasi larutan secara cepat dan kontinu selama proses pemanasan berlangsung (Castro *et al.*, 2019).

Pada proses pembuatan kopi jahe instan, metode pemanasan yang umum digunakan masih berupa pemanas konvensional, yaitu pemanasan bahan dalam wajan di atas kompor listrik. Walaupun teknik ini mudah diterapkan, pemanfaatan energinya belum optimal karena sebagian besar panas tidak sepenuhnya berpindah ke bahan akibat distribusi panas yang tidak merata, sehingga banyak energi terbuang ke lingkungan. Kondisi tersebut mencerminkan tingkat irreversibilitas yang tinggi, yang berhubungan dengan rendahnya efektivitas pemanfaatan energi atau efisiensi eksergi. Untuk menilai inefisiensi energi akibat ketidakseimbangan antara energi yang digunakan dan panas yang hilang, dilakukan analisis eksergi berdasarkan Hukum Termodinamika II, sehingga dapat diketahui letak dan besar kerugian energi dalam sistem, termasuk sumber utama kerusakan eksergi (Okunola *et al.*, 2023). Analisis eksergi digunakan sebagai metode evaluasi yang lebih komprehensif dibandingkan evaluasi energi konvensional yang hanya mengacu pada Hukum Termodinamika Pertama, karena mampu mengevaluasi tidak hanya jumlah energi, tetapi juga kualitas energi yang dapat dikonversi menjadi kerja berguna. Dalam konteks ini, eksergi merepresentasikan kualitas energi yang menjadi faktor penting dalam menentukan efisiensi nyata dari suatu proses termal (Han & Wang, 2024).

Pada proses kristalisasi kopi jahe instan, penggunaan sistem pemanasan terbuka menyebabkan berbagai bentuk kehilangan energi, baik melalui radiasi dan konveksi ke lingkungan sekitar, maupun karena distribusi panas yang tidak merata dalam larutan. Peningkatan viskositas larutan akibat penambahan sukrosa menghambat konveksi alami, menyebabkan distribusi panas tidak merata dan membentuk gradien suhu yang tinggi di dalam sistem, sehingga diperlukan waktu pemanasan yang lebih lama dan konsumsi energi termal yang lebih besar untuk mencapai dan mempertahankan kondisi kristalisasi (Suseno H., 2024). Efisiensi eksergi proses pengeringan produk pangan dapat berada dalam kisaran yang sangat rendah, menunjukkan besarnya potensi perbaikan dalam sistem. Peningkatan nilai entropi dalam suatu sistem biasanya sejalan dengan bertambahnya kehilangan eksergi, dan saat terjadi peningkatan entropi pada proses perpindahan panas yang tidak efektif, maka akan muncul ketidakterbalikan (irreversibilitas) dalam proses, sehingga energi yang tersedia menjadi tidak sepenuhnya dapat dimanfaatkan secara efisien (Yessad *et al.*, 2025). Melalui pendekatan analisis eksergi dan pemahaman terhadap perubahan entropi, titik-titik kritis kerugian energi dapat diidentifikasi secara lebih tepat, sehingga memungkinkan perbaikan teknis pada sistem pemanas maupun desain proses agar lebih efisien, serta penyusunan strategi optimasi yang menekan konsumsi energi dan memperkecil dampak lingkungan dari proses produksi (Dincer & Rosen, 2012; Çengel & Boles, 2015).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinetika proses kristalisasi dan efisiensi eksergi pada pembuatan kopi jahe instan secara komprehensif. Pemahaman mendalam tentang parameter kinetika seperti laju nukleasi, laju pertumbuhan kristal, dan energi aktivasi akan memberikan dasar ilmiah untuk optimasi kondisi operasi. Sementara itu, analisis eksergi akan mengidentifikasi unit operasi dengan destruksi eksergi tertinggi dan memberikan rekomendasi untuk peningkatan efisiensi energi sistem secara keseluruhan. Dengan mempertimbangkan tren global menuju produksi pangan yang berkelanjutan dan efisien energi, serta meningkatnya permintaan konsumen terhadap produk pangan fungsional, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan baik secara teoritis maupun praktis dalam pengembangan industri minuman instan

berbasis komoditas lokal Indonesia.