BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara dengan sumber daya alam yang melimpah serta tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi. Tercatat tidak kurang dari 30.000 jenis tanaman tumbuh di Indonesia, di mana sekitar 9.600 spesies telah diketahui memiliki nilai ekonomi dan dimanfaatkan secara tradisional sebagai tanaman obat. Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu pusat biodiversitas dunia sekaligus aset potensial dalam pengembangan produk alami, baik untuk pangan fungsional maupun obat-obatan tradisional (Susidarti, 2017). Salah satu tanaman obat yang banyak dibudidayakan adalah jahe (*Zingiber officinale*), yang termasuk dalam kelompok tanaman biofarmaka dan memberikan kontribusi signifikan terhadap sektor hortikultura nasional (Vidhiyanti & Ahmad, 2025).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, produksi jahe di Indonesia mencapai 183,510 ribu ton pada tahun 2020, meningkat drastis menjadi 307,240 ribu ton pada 2021, namun kembali menurun sebesar 19,49 % menjadi 247,340 ribu ton pada 2022 (Hidayah, 2023). Fluktuasi produksi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti permintaan pasar dan ketidakpastian iklim (Hapsari, 2023). Kondisi ini menjadi tantangan utama dalam mewujudkan sistem produksi jahe yang berkelanjutan, baik dalam hal kestabilan kuantitas hasil panen maupun konsistensi mutu produk. Jahe juga tergolong sebagai bahan pangan yang mudah rusak (*perishable food*) karena kandungan airnya yang cukup tinggi, sehingga sangat rentan terhadap serangan mikroorganisme seperti jamur dan kapang yang dapat mempercepat proses pelapukan (Imelda et al., 2021). Kondisi ini membuat jahe segar memiliki masa simpan yang cukup singkat. Oleh sebab itu, diperlukan penanganan pascapanen yang memadai serta metode pengolahan lanjutan untuk menjaga kualitasnya dan memperpanjang umur simpannya agar dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Seiring dengan upaya pengolahan pascapanen tersebut, jahe juga telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan baku minuman tradisional, khususnya dalam bentuk jamu (Yuliana et al., 2021). Berdasarkan hasil survei, tercatat sekitar 49,53% masyarakat Indonesia menggunakan jamu sebagai bagian dari upaya menjaga kesehatan dan pengobatan tradisional (Badan Litbang Kesehatan, 2010). Pemanfaatan jahe sebagai bahan utama jamu dinilai tepat karena mengandung sejumlah senyawa bioaktif seperti gingerol, shogaol, dan zingeron yang berperan sebagai anti inflamasi, antioksidan, serta meningkatkan sistem imun tubuh (Vifta & Hasri, 2022). Selain memberikan rasa hangat, konsumsi jahe juga dapat memberikan manfaat kesehatan secara umum. Produk jamu berbasis jahe umumnya disajikan dalam bentuk cair berupa sari jahe yang diperoleh melalui proses pemanasan dan langsung dapat dikonsumsi. Namun demikian, proses pengolahannya membutuhkan waktu yang relatif lama dan memiliki keterbatasan dalam hal daya simpan. Hal ini turut menjadi penyebab menurunnya minat masyarakat dalam mengonsumsi jamu tradisional. Sebagai solusi, kini mulai dikembangkan bentuk jamu dalam sediaan instan yang lebih praktis dan mudah disajikan, serta mulai mendapat perhatian lebih dari konsumen. Salah satu produk yang cukup populer adalah jahe instan, yaitu minuman olahan dari jahe yang lebih efisien secara penyajian namun tetap mempertahankan manfaat kesehatannya (Budiarto et al., 2022).

Produksi minuman jahe instan berbentuk serbuk melibatkan beberapa tahapan penting, seperti ekstraksi, pemanasan, pengadukan, hingga pengemasan. Selama proses tersebut, sejumlah faktor seperti suhu, waktu pemasakan, dan konsentrasi bahan terlarut, khususnya gula, sangat memengaruhi kualitas akhir produk (Krisna et al., 2023; Harahap, 2019; Syamsul et al., 2023). Salah satu tahap krusial dalam proses tersebut adalah kristalisasi, yaitu proses pembentukan partikel padat (kristal) dari larutan homogen. 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 (Budiartha et al., 2022). Produk 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 (Anastasia, 2023).

Dalam proses kristalisasi, air dari ekstrak jahe diuapkan hingga larutan mencapai kondisi lewat jenuh (supersaturasi), yang kemudian memicu pembentukan kristal. Proses ini 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. Salah satu faktor penting yang memengaruhi proses ini adalah keberadaan gula, khususnya sukrosa, yang dikenal sebagai agen pembentuk kristal. Penambahan sukrosa diketahui dapat meningkatkan konsentrasi larutan, mempercepat proses pembentukan inti kristal, serta memberikan pengaruh positif terhadap kelarutan dan sifat organoleptik produk akhir (Umami, Bait & Engelen, 2025). Terdapat empat tingkat konsentrasi larutan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 0,504 M, 0,913 M, 1,218 M, dan 1,480 M. Perbedaan ini berdasarkan tingkat konsentrasi penambahan gula, bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana pengaruh sukrosa terhadap laju pembentukan kristal dalam proses kristalisasi jahe instan.

Untuk memahami laju pembentukan kristal pada proses pembuatan jahe instan, diperlukan kajian mendalam mengenai kinetika kristalisasi dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhinya. Pengendalian terhadap parameter-parameter kristalisasi, seperti suhu, waktu, dan konsentrasi bahan terlarut, menjadi aspek krusial dalam merancang proses yang efisien dan dapat dijadikan dasar dalam pengembangan ke skala industri (Menon et al., 2007). Studi mengenai kinetika kristalisasi penting dilakukan karena memberikan gambaran menyeluruh mengenai dinamika proses pembentukan kristal, sehingga proses dapat dioptimalkan untuk memperoleh produk dengan karakteristik fisik dan kualitas yang diinginkan. Selain itu, pemahaman terhadap kinetika juga memungkinkan prediksi dan pengendalian

hasil akhir, yang sangat dibutuhkan dalam merancang proses produksi berskala besar secara konsisten dan efisien. Salah satu pendekatan penting dalam hal ini adalah pemodelan kinetika kristalisasi. Dalam studi kinetika, terdapat berbagai model matematis yang dapat digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara waktu dan pertumbuhan kristal yang terbentuk (Ismadji et al., 2021). Pada penelitian ini, digunakan empat model kinetika berbeda untuk dianalisis. Data yang dimodelkan diperoleh dari hasil pengamatan terhadap perubahan fraksi kristal selama proses berlangsung. Nilai fraksi kristal dihitung berdasarkan pengukuran berat jenis larutan, serta diperkuat dengan parameter pendukung seperti kadar padatan terlarut ($^{\circ}$ Brix), pengukuran suhu, dan pengecekan pH yang dikendalikan selama proses. Melalui pendekatan ini, proses kristalisasi dapat dikendalikan dengan lebih sistematis dan efisien, sehingga mendukung perancangan proses produksi pangan yang lebih aplikatif dan dapat diterapkan pada skala yang lebih luas.

Proses produksi jahe instan pada umumnya masih menggunakan sistem pemanas konvensional berupa wajan yang dipanaskan langsung di atas kompor berbahan bakar LPG. Meskipun sistem ini mudah diterapkan dan efisien dalam hal biaya, namun efisiensi termalnya relatif rendah. Energi panas dari pembakaran gas LPG tidak seluruhnya terserap oleh bahan, karena sebagian besar hilang ke lingkungan akibat proses pemanasan yang berlangsung secara terbuka dan tidak merata. Ketidakefisienan ini menunjukkan adanya *irreversibilitas*, yaitu kondisi di mana sebagian energi yang tersedia tidak dapat dimanfaatkan secara optimal dalam proses. Tingginya tingkat *irreversibilitas* dapat menurunkan efisiensi energi sistem, khususnya efisiensi eksergi (Prasetyo et al., 2024). Oleh karena itu, untuk mengevaluasi pemanfaatan energi secara lebih menyeluruh, digunakan pendekatan analisis eksergi yang mengacu pada hukum termodinamika II (Priambodo et al., 2015). Analisis ini tidak hanya mempertimbangkan jumlah energi yang digunakan, tetapi juga menilai kualitas energi serta potensi kerugian yang terjadi selama proses berlangsung (Dincer & Rosen, 2013). Dengan demikian, analisis ini penting dilakukan untuk mengoptimalkan sistem pemanas dalam produksi jahe instan, agar

proses dapat berjalan secara efisien baik dari sisi energi maupun mutu produk. Selama ini, penilaian efisiensi sistem umumnya hanya mengacu pada hukum termodinamika pertama, yang menekankan keseimbangan energi secara kuantitatif, yakni menghitung jumlah energi masuk dan keluar tanpa mempertimbangkan kualitas energi yang digunakan. Pendekatan ini memiliki kelemahan karena tidak mampu menjelaskan sejauh mana energi tersebut dapat dimanfaatkan secara efektif dalam proses produksi (Dincer & Rosen, 2013). Maka, pendekatan eksergi ini digunakan untuk memperoleh gambaran menyeluruh terhadap efektivitas sistem pemanas yang digunakan dalam proses produksi jahe instan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, analisis eksergi digunakan sebagai metode evaluasi yang lebih komprehensif. Analisis ini didasarkan pada hukum termodinamika kedua dan mampu mengevaluasi tidak hanya jumlah energi, tetapi dikonversi menjadi kerja yang berguna. Dengan kata lain, eksergi merepresentasikan kualitas energi, yang menjadi faktor penting dalam menentukan efisiensi nyata dari suatu proses termal (Çengel & Boles, 2015). Dalam konteks ini, entropi memiliki peran penting karena peningkatan nilai entropi dalam suatu sistem biasanya sejalan dengan bertambahnya kehilangan eksergi. Entropi sendiri merepresentasikan tingkat ketidakteraturan dalam sistem, dan saat terjadi peningkatan entropi pada proses perpindahan panas yang tidak efektif atau akibat adanya gesekan internal maka akan muncul ketidakterbalikan (*irreversibilitas*) dalam proses. Kondisi ini menyebabkan energi yang tersedia menjadi tidak sepenuhnya dapat dimanfaatkan secara efisien (Moran et al., 2014).

Pada proses kristalisasi 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 (Nugraha, 2022). Tantangan ini semakin besar ketika viskositas larutan meningkat akibat penambahan sukrosa, yang secara signifikan menambah kebutuhan energi termal untuk mempertahankan kestabilan suhu kristalisasi (Longinotti & Corti, 2008). Melalui pendekatan analisis eksergi dan pemahaman terhadap perubahan

entropi, titik-titik kritis dari kerugian energi dapat diidentifikasi secara lebih tepat. Evaluasi ini memungkinkan perbaikan teknis pada sistem pemanas maupun desain proses agar lebih efisien. Dengan membandingkan nilai efisiensi eksergi pada berbagai kondisi operasional, pelaku industri dapat menyusun strategi optimasi yang tidak hanya menekan konsumsi energi, tetapi juga memperkecil dampak lingkungan dari proses produksi (Dincer & Rosen, 2013; Çengel & Boles, 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang didapat adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap laju kristalisasi pada proses pembuatan jahe instan?
2. Model kinetika kristalisasi matematis mana yang paling sesuai untuk merepresentasikan proses kristalisasi jahe instan secara akurat berdasarkan data hasil penelitian?
3. Bagaimana penerapan analisis eksergi dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi energi pada proses kristalisasi jahe instan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap laju kristalisasi pada proses pembuatan jahe instan.
2. Menentukan model kinetika kristalisasi yang paling sesuai untuk merepresentasikan proses kristalisasi jahe instan secara akurat.
3. Mengevaluasi efisiensi energi pada proses kristalisasi jahe instan menggunakan pendekatan analisis eksergi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap laju kristalisasi pada proses pembuatan jahe instan.
2. Memberikan informasi mengetahui model matematika yang paling tepat digunakan untuk merepresentasikan proses kinetika kristalisasi secara akurat.
3. Memberikan informasi mengenai penerapan analisis eksergi dalam mengevaluasi efisiensi energi pada proses kristalisasi jahe instan.