

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah dengan tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi. Menurut Retnowati dan Rugayah (2019), pada tahun 2017, terdapat 31.750 jenis tanaman yang berhasil ditemukan di Indonesia dan sekitar 15.000 tumbuhan yang memiliki potensi sebagai obat, tetapi baru hanya sekitar 7.000 spesies yang digunakan sebagai bahan baku obat. Dengan potensi ini, menjadikan Indonesia sebagai salah satu pusat keanekaragaman hayati dunia sekaligus aset berharga dalam pengembangan produk alami, seperti pangan fungsional maupun obat tradisional (Raymond, 2020). Tanaman yang banyak dibudidayakan secara luas oleh masyarakat adalah jahe (*Zingiber officinale*) dan kencur (*Kaempferia galanga*), yang termasuk dalam kelompok tanaman biofarmaka serta memberikan kontribusi besar terhadap perkembangan sektor hortikultura nasional. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, pada tahun 2021-2023 volume produksi jahe dan kencur di Indonesia mengalami penurunan yang cukup signifikan, yakni sebesar 35,27% dan 11,98%. Data tersebut menunjukkan bahwa volume produksi jahe dan kencur di Indonesia dalam rentang waktu 3 tahun terakhir mengalami penurunan yang dapat disebabkan oleh permintaan pasar hingga ketidakstabilan kondisi iklim di Indonesia.

Jahe dan kencur termasuk kedalam kelompok bahan pangan mudah rusak atau *perishable food* karena memiliki kandungan air yang cukup tinggi didalamnya, sehingga sangat rentan terhadap serangan mikroorganisme, seperti jamur dan kapang yang mempercepat proses pembusukan. Kondisi tersebut membuat jahe dan kencur segar memiliki umur simpan yang cenderung singkat. Oleh karena itu, diperlukan penanganan pascapanen yang tepat serta penerapan metode pengolahan lanjutan untuk mempertahankan kualitasnya dan memperpanjang umur simpannya agar dapat dimanfaatkan secara maksimal. Secara umum, masyarakat Indonesia telah memanfaatkan jahe dan kencur sebagai bahan dasar minuman tradisional,

khususnya dalam bentuk jamu. Berdasarkan hasil survei, sebanyak 49.53% masyarakat di Indonesia mengonsumsi jamu dengan tujuan untuk menjaga kesehatan tubuh dan juga sebagai pengobatan tradisional dan 95.6% diantara konsumen jamu mengakui khasiat jamu bagi kesehatannya (Adiyasa dan Meiyanti, 2021).

Pemanfaatan jahe sebagai bahan dasar jamu dikarenakan kandungan didalamnya, seperti shogaol, gingerol, dan zingeron yang bermanfaat sebagai perangsang (*stimulant*), antimuntah (*antitussive*), antiradang (*anti-inflammatory*), melancarkan sirkulasi darah, dan menambah nafsu makan. Begitu juga dengan kencur yang memiliki kandungan saponin, flavonoid, polifenol, dan minyak atsiri yang bermanfaat sebagai obat batuk, disentri, masuk angin, dan penambah nafsu makan (Basito, 2012). Selain memberikan rasa hangat, mengonsumsi jahe juga dapat memberikan manfaat kesehatan lainnya secara umum. Jamu yang diproduksi oleh masyarakat umum, biasanya dalam bentuk cair yang berupa sari hasil ekstrak yang diperoleh dari proses pemanasan dan dapat langsung dikonsumsi. Akan tetapi, dalam proses pembuatannya membutuhkan waktu yang cukup lama dan cenderung memiliki umur simpan yang pendek. Hal tersebut dapat menyebabkan menurunnya minat masyarakat Indonesia dalam mengonsumsi jamu tradisional. Sebagai solusi, kini mulai dikembangkan bentuk jamu yang dapat dikonsumsi secara praktis, mudah, sederhana dan efektif, yakni jamu instan, yang berpotensi untuk menjadi produk unggulan (Hendrika, 2024). Salah satu produk jamu instan yang paling populer adalah jahe instan, yakni minuman olahan dari ekstrak jahe yang lebih praktis dan efisien dalam penyajiannya dan tetap mempertahankan khasiatnya (Satria, 2022).

Dalam pengolahan gula jahe kencur, terdapat beberapa pendekatan teknologi yang dapat digunakan untuk membawa dan mempertahankan senyawa aktif didalamnya, antara lain kristalisasi, enkapsulasi dan ko-kristalisasi. Kristalisasi merupakan proses pembentukan kristal dari suatu zat terlarut, umumnya gula, yang bertujuan menghasilkan partikel padat dengan struktur teratur tanpa melibatkan pengikatan atau perlindungan terhadap senyawa bioaktif tambahan. Enkapsulasi merupakan teknik pembungkusan senyawa aktif menggunakan bahan

penyalut tertentu, sehingga terbentuk sistem inti dinding yang berfungsi melindungi senyawa aktif dari pengaruh lingkungan dan mengatur pelepasannya. Sementara itu, Ko-kristalisasi adalah proses pembentukan kristal yang melibatkan lebih dari satu komponen, di mana senyawa aktif rempah menyatu secara fisik ke dalam kisi kristal sukrosa selama proses kristalisasi, sehingga senyawa tersebut menjadi bagian dari struktur kristal. Penggunaan ko-kristalisasi dalam pengolahan gula jahe kencur memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dua metode lainnya, karena prosesnya relatif lebih sederhana dan ekonomis dibandingkan teknik enkapsulasi modern (seperti *spray drying*), sehingga lebih sesuai untuk skala industri kecil hingga menengah.

Penerapan metode ko-kristalisasi dalam pengolahan gula jahe kencur tidak terlepas dari peran senyawa bioaktif yang terkandung dalam jahe dan kencur selama proses pembentukan kristal. Senyawa bioaktif jahe dan kencur berada dalam fase larutan bersama sukrosa selama proses pemanasan dan pemekatan, sehingga berinteraksi secara fisik dalam sistem larutan. Seiring dengan meningkatnya konsentrasi sukrosa akibat penguapan air hingga mencapai kondisi lewat jenuh, pembentukan inti kristal mulai terjadi (Ramadhani, 2025). Pada tahap ini, senyawa bioaktif jahe dan kencur dapat terperangkap dan terdistribusi di dalam struktur kristal sukrosa yang sedang tumbuh, sehingga menjadi bagian dari matriks kristal. Mekanisme ini memungkinkan senyawa bioaktif tetap terbawa dalam produk akhir, sekaligus berkontribusi terhadap stabilitas, kemudahan pelarutan, dan mutu fungsional gula jahe kencur.

Dalam proses pembuatan gula jahe kencur melalui beberapa tahapan penting, seperti ekstraksi, pemanasan, pengadukan, hingga proses pengemasan. Selama proses tersebut, faktor-faktor seperti suhu, waktu pemanasan, dan konsentrasi bahan, terutama gula, menjadi parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas akhir produk (Krisna et al., 2023; Harahap, 2019; Syamsul et al, 2023). Salah satu tahap yang paling penting dalam proses ko-kristalisasi, yaitu proses pembentukan partikel padatan atau kristal dari larutan campuran. Proses ko-kristalisasi ini sering digunakan dalam industri pangan dikarenakan sangat efektif dalam menghasilkan senyawa dalam bentuk murni dan memperbaiki sifat fisik

produk sehingga lebih stabil dalam proses penyimpanan. Produk gula jahe kencur yang diproses melalui metode ko-kristalisasi memiliki beberapa keunggulan, antara lain praktis dalam penyajian, mudah larut dalam air, dan juga memiliki masa simpan yang lebih lama dibandingkan dengan jamu segar (Hendrika, 2024). Dalam proses ko-kristalisasi, kristal mulai dapat terbentuk ketika air dari ekstrak jahe dan kencur menguap hingga mencapai kondisi lewat jenuh. Proses ini meliputi dua tahap utama, yaitu pembentukan inti kristal (nukleasi) dan pertumbuhan fraksi kristal. Suhu pemanasan yang tinggi dapat mempercepat tercapainya kondisi lewat jenuh, sehingga inti kristal dapat terbentuk lebih cepat. Salah satu faktor krusial yang mempengaruhi proses ini adalah keberadaan gula, terutama sukrosa, yang dikenal sebagai agen pembentuk kristal. Penambahan sukrosa ke dalam larutan dapat meningkatkan kadar konsentrasi, mempercepat terbentuknya kristal, serta memberikan pengaruh positif terhadap tingkat kelarutan dan karakteristik organoleptik produk akhir (Umami, 2025). Terdapat tiga tingkat konsentrasi larutan yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu 1,170M; 1,462M; dan 1,754M. Perbedaan konsentrasi larutan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pembentukan fraksi kristal dalam proses kristalisasi gula jahe kencur.

Untuk memahami laju terbentuknya kristal pada proses pembuatan gula jahe kencur, diperlukan studi mendalam terkait kinetika ko-kristalisasi dengan mempertimbangkan seluruh faktor yang mempengaruhinya. Terdapat beberapa parameter yang perlu dikendalikan dalam proses ko-kristalisasi ini, yaitu suhu, waktu, dan konsentrasi bahan terlarut, menjadi aspek penting dalam merancang proses yang efisien dan dapat diterapkan dalam pengembangan menjadi skala yang lebih besar (Menon, 2007). Suhu pemanasan merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi proses ko-kristalisasi karena berperan langsung dalam penguapan air, peningkatan konsentrasi larutan, serta pencapaian kondisi lewat jenuh. Peningkatan suhu dapat mempercepat tercapainya kondisi lewat jenuh sehingga mempercepat pembentukan inti kristal (nukleasi) dan laju pertumbuhan kristal (Jumari et al., 2003). Namun, suhu yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan degradasi senyawa bioaktif jahe dan kencur serta memengaruhi karakteristik kristal yang terbentuk. Oleh karena itu, pengaruh suhu terhadap proses

ko-kristalisasi perlu dipahami secara kuantitatif, terutama dalam kaitannya dengan laju pembentukan kristal dan mekanisme pertumbuhan yang selanjutnya dianalisis melalui pendekatan kinetika.

Pada studi kinetika, terdapat beberapa model matematis yang dapat diterapkan untuk menggambarkan hubungan antara waktu dengan proses pertumbuhan kristal dari larutan. Dalam penelitian ini, digunakan tiga model kinetika yang berbeda untuk dilakukan analisis. Data yang akan dilakukan pemodelan diperoleh dari hasil pengamatan terhadap fraksi kristal yang terbentuk selama proses berlangsung. Nilai fraksi kristal dihitung berdasarkan pengujian berat jenis larutan, dan juga terdapat beberapa parameter penunjang, seperti total padatan terlarut (%Brix), suhu, kadar air, dan pH yang akan dilakukan pengendalian selama proses berlangsung. Berdasarkan pendekatan tersebut, proses ko-kristalisasi dapat dilakukan dengan cara yang lebih efisien dan terkontrol, sehingga mendukung perancangan proses produksi yang lebih aplikatif, sehingga dapat diterapkan menjadi skala yang lebih besar.

Pada umumnya, proses produksi gula jahe kencur menggunakan sistem pemanasan konvensional berupa wajan yang dipanaskan di atas kompor listrik. Meskipun metode ini mudah dan praktis diterapkan, tingkat efisiensi termalnya cenderung rendah. Energi panas yang dihasilkan dari elemen pemanas kompor listrik tidak seluruhnya terserap oleh bahan karena distribusi panas yang kurang optimal, sehingga sebagian energi terbuang ke lingkungan sekitar (Fauizie, 2025). Ketidakefisienan ini menunjukkan adanya irreversibilitas atau energi yang tersedia tidak dapat dimanfaatkan secara optimal oleh proses. Tingginya irreversibilitas menandakan rendahnya efisiensi energi, khususnya efisiensi eksergi. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi rendahnya tingkat efisiensi dalam penggunaan energi, dilakukan analisis eksergi yang mengacu pada Hukum Termodinamika II. Analisis eksergi ini memberikan gambaran mengenai perbedaan antara kehilangan energi ke lingkungan dan irreversibilitas internal dalam proses, serta dapat menjadi panduan dalam mengidentifikasi lokasi dan besarnya kerugian sehingga dapat diketahui distribusi losses energy dan komponen yang memiliki kerusakan eksergi paling dominan (Prasetyo, 2024; Sarah, 2020).

Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan analisis eksergi sebagai sebuah cara untuk melakukan evaluasi yang lebih mendalam. Berdasarkan Hukum Termodinamika II, analisis eksergi ini tidak hanya berfokus pada jumlah energi yang terbuang, tetapi juga pada kemampuannya untuk dikonversi menjadi kerja yang bermanfaat. Dengan kata lain, analisis eksergi memberikan gambaran terkait kualitas energi, yang menjadi faktor penting dalam penentuan efisiensi yang nyata dari suatu proses termal. Dalam hal ini, entropi memiliki peran yang cukup krusial karena semakin tinggi nilai entropi, maka semakin besar pula kehilangan ekserginya. Entropi disini menggambarkan tingkat ketidakteraturan atau keacakan dalam sistem termodinamika, ketika meningkatnya entropi pada suatu proses perpindahan panas yang tidak optimal, maka akan timbul *irreversibilitas* dalam proses (Dharma, 2024). Hal tersebut dapat menyebabkan, energi yang tersedia menjadi tidak seluruhnya dapat diserap secara efisien oleh proses (Halawa, 2024).

Pada proses ko-kristalisasi gula jahe kencur, penerapan sistem pemanas terbuka, berpotensi menimbulkan berbagai bentuk kehilangan energi, baik secara konveksi dan radiasi ke lingkungan sekitar, maupun terjadinya perpindahan panas yang tidak merata di dalam larutan. Peningkatan viskositas larutan akibat penambahan sukrosa juga akan menyebabkan hambatan perpindahan panas menjadi lebih besar, sehingga diperlukan energi termal tambahan untuk menjaga kestabilan suhu ko-kristalisasi (Umami, 2025). Melalui pendekatan analisis eksergi dan juga pemahaman terhadap perubahan entropi, titik-titik kritis penyebab kerugian energi dapat diidentifikasi lebih awal. Hasil evaluasi ini menjadi dasar untuk melakukan perbaikan teknis pada sistem pemanas maupun desain proses agar lebih efisien. Perbandingan nilai efisiensi eksergi pada berbagai kondisi operasional memungkinkan pelaku merumuskan strategi optimasi yang efisien secara energi sekaligus ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang didapat antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap laju ko-kristalisasi pada proses pembuatan gula jahe kencur?
2. Berdasarkan data hasil penelitian, model matematika mana yang paling tepat digunakan untuk merpresentasikan proses kinetika ko-kristalisasi secara akurat?
3. Bagaimana analisis eksergi dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi efisiensi energi pada proses ko-kristalisasi gula jahe kencur?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap laju ko-kristalisasi pada proses pembuatan gula jahe kencur.
2. Untuk mengetahui model matematika yang paling tepat digunakan untuk merepresentasikan proses kinetika ko-kristalisasi secara akurat.
3. Untuk mengetahui analisis eksergi dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi efisiensi energi pada proses ko-kristalisasi gula jahe kencur.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap laju ko-kristalisasi pada proses pembuatan gula jahe kencur.
2. Memberikan informasi mengetahui model matematika yang paling tepat digunakan untuk merepresentasikan proses kinetika secara akurat.
3. Memberikan informasi analisis eksergi dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi efisiensi energi pada proses ko-kristalisasi gula jahe kencur.