

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negeri yang memiliki kekayaan alam yang melimpah. Salah satu kekayaan alam yang dimiliki adalah tingginya keanekaragaman hayati termasuk tanaman obat-obatan sebagai bahan baku jamu. Dari 30.000 jenis tanaman khas Indonesia, sedikitnya ada 7.500 jenis yang sudah diketahui memiliki khasiat herbal atau tanaman obat (Salim, Z., 2017). Dari jumlah tersebut baru 1.200 jenis tanaman yang sudah dimanfaatkan untuk bahan baku obat-obatan herbal atau jamu (Aseptianova, 2019). Budidaya tanaman obat memiliki peluang pasar yang tinggi seiring dengan pertumbuhan industri obat tradisional serta gaya hidup *back to nature* yang sedang dijalani masyarakat saat ini (Miftah et al., 2023). Salah satu tanaman obat yang menjadi bahan baku utama jamu adalah temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) yang telah ditetapkan sebagai komoditas biofarmaka unggulan nasional oleh Badan Pengawasan Obat dan Makanan (BPOM).

Temulawak telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia sebagai bahan baku dalam pengobatan herbal, khususnya dalam bentuk jamu tradisional. Rimpang temulawak mengandung sejumlah senyawa bioaktif seperti kurkuminoid, minyak atsiri (3,81-10%), xanthorrhizol, serta senyawa fenolik yang berperan sebagai antioksidan, antiinflamasi, antikanker, hepatoprotektif, antimikroba, dan imunomodulator (Afifah, 2003). Kurkumin, sebagai senyawa polifenol utama, memberikan warna kuning khas dan bertanggung jawab atas sebagian besar aktivitas biologis temulawak. Kandungan pati dalam temulawak mencapai 41,45-48%, serat 12-12,62%, dan kurkumin 1-2% (Nihayati, 2016). Pemanfaatan temulawak sebagai bahan utama jamu dinilai tepat karena memberikan manfaat kesehatan secara umum, termasuk meningkatkan sistem imun tubuh.

Selain temulawak, daun sirsak (*Annona muricata* L.) juga diketahui mengandung senyawa aktif yang sangat bermanfaat bagi kesehatan. Daun sirsak

mengandung flavonoid, saponin, tanin, acetogenins, dan senyawa bioaktif lain yang bersifat antikanker, antihipertensi, antidiabetes, antibakteri, dan antioksidan (Moghadamtousi *et al.*, 2015). Senyawa acetogenins merupakan senyawa poliketida dengan rantai panjang yang memiliki aktivitas sitotoksik melalui mekanisme penghambatan kompleks I rantai transpor elektron mitokondria (Liaw *et al.*, 2010). Penelitian oleh (Gavamukulya *et al.*, 2014) menunjukkan bahwa ekstrak etanol dan air daun sirsak memiliki aktivitas antioksidan yang signifikan dengan kemampuan menghambat radikal DPPH. Kombinasi temulawak dan daun sirsak diharapkan memberikan efek sinergis, karena kurkumin dari temulawak bekerja sebagai antioksidan melalui donor atom hidrogen dan penangkapan radikal bebas, sedangkan acetogenins dari daun sirsak bekerja melalui mekanisme yang berbeda (Coria-Télez *et al.*, 2018). Dengan demikian, minuman serbuk yang menggabungkan kedua tanaman ini diperkirakan dapat menghasilkan produk fungsional dengan aktivitas senyawa bioaktif yang lebih optimal.

Seiring dengan upaya pengolahan pascapanen tersebut, pengembangan produk herbal dalam bentuk minuman instan menjadi alternatif yang menarik. Berdasarkan hasil survei, tercatat sekitar 49,53% masyarakat Indonesia menggunakan jamu sebagai bagian dari upaya menjaga kesehatan dan pengobatan tradisional (Badan Litbang Kesehatan. 2010). Namun demikian, proses pembuatan jamu tradisional yang membutuhkan waktu relatif lama dan memiliki keterbatasan dalam hal daya simpan menjadi kendala tersendiri. 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. Produk minuman instan dinilai praktis, mudah disajikan, lebih stabil selama penyimpanan, dan disukai konsumen (Sulistiowati *et al.*, 2022). Menurut (BSN, 1996), produk serbuk minuman tradisional harus memenuhi kriteria mutu meliputi kadar air maksimal 3%, aroma, rasa, warna yang khas, serta mudah larut dalam air.

Produksi minuman serbuk 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. 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. Produk 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 (Trinovita et al., 2021).

Dalam proses kristalisasi, air dari ekstrak 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. (Nisfiah et al., 2022) menjelaskan bahwa proses kristalisasi optimal dilakukan pada suhu 100–110°C, dan apabila suhu melebihi 160°C dapat memicu reaksi karamelisasi yang menghambat pembentukan kristal. Salah satu faktor penting yang memengaruhi proses ini adalah keberadaan gula, khususnya gula kelapa, yang dikenal sebagai agen pembentuk kristal. Gula kelapa tidak hanya berfungsi sebagai pemanis, tetapi juga memiliki rasa khas karamel, indeks glikemik lebih rendah (GI = 35) dibandingkan gula pasir (GI = 65), serta kandungan mineral seperti kalium, magnesium, zink, dan besi yang dapat meningkatkan nilai fungsional minuman (Trinidad et al., 2010). Selain itu, gula kelapa dilaporkan mengandung komponen serat larut seperti frukto-oligosakarida yang berpotensi bersifat prebiotik sehingga dapat memberikan nilai tambah fungsional pada produk pangan.. Penelitian oleh (Sabariman et al., 2021) menunjukkan bahwa penggunaan gula aren dalam formula minuman serbuk bersama temulawak dan jahe menghasilkan tingkat kesukaan konsumen yang tinggi (nilai hedonik 4,08) dan aktivitas antioksidan tinggi (IC₅₀ = 17,02 µg/mL). Hal ini mendukung penggunaan gula kelapa sebagai pemanis utama dalam penelitian ini. 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 temulawak dan daun sirsak instan.

Untuk memahami laju pembentukan kristal pada proses pembuatan minuman serbuk 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. Salah satu pendekatan penting dalam hal ini adalah pemodelan kinetika kristalisasi. Dalam penelitian ini, digunakan tiga model kinetika berbeda untuk dianalisis, yaitu model Avrami, model Weibull dan model Gompertz. Data yang dimodelkan diperoleh dari hasil pengamatan terhadap perubahan fraksi kristal selama proses berlangsung. Fraksi kristal menggambarkan proporsi zat terlarut yang telah bertransformasi dari fase cair menjadi fase padat selama proses kristalisasi berlangsung. Dalam penelitian ini, fraksi kristal ditentukan berdasarkan kadar padatan (*solid content*) yang diperoleh dari hasil pengukuran kadar air sampel secara berkala setiap dua menit selama proses berlangsung, yang didukung oleh pengukuran °Brix dan berat jenis sebagai parameter pendukung dalam memantau perubahan konsentrasi dan densitas larutan selama proses berlangsung. Kadar padatan dinyatakan sebagai komplemen dari kadar air, yaitu kadar padatan (%) = 100% – kadar air (%). Pendekatan ini didasarkan pada prinsip kesetimbangan massa (*mass balance*), di mana selama proses kristalisasi berlangsung, air dalam larutan menguap secara bertahap sehingga proporsi massa padat dalam sistem meningkat seiring dengan terbentuknya kristal. Dengan demikian, peningkatan nilai kadar padatan dari waktu ke waktu dapat digunakan sebagai indikator perkembangan pembentukan fase padat selama proses kristalisasi berlangsung.

Proses produksi minuman serbuk 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, berkisar antara 40–55% (Sudarno & Fadelan, 2015). 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. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan sistem pemanas berbasis kompor induksi, yang memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan panas secara langsung pada alat masak. Penggunaan kompor induksi diketahui memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi karena panas dihasilkan langsung pada wajan tanpa melalui media perantara seperti api, sehingga kehilangan energi akibat radiasi dan konveksi ke lingkungan dapat diminimalkan. Kompor induksi memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi mencapai 80–90% karena panas dihasilkan langsung pada wajan tanpa melalui media perantara seperti api atau udara panas, sehingga kehilangan energi akibat radiasi dan konveksi ke lingkungan dapat diminimalkan (Budi Sudiarto et al., 2023). Penggunaan kompor induksi juga memungkinkan pengendalian suhu yang lebih stabil dan presisi selama proses pemasakan dan pengeringan.

Untuk mengevaluasi pemanfaatan energi secara lebih menyeluruh, digunakan pendekatan analisis eksergi yang mengacu pada hukum termodinamika II. Analisis ini tidak hanya mempertimbangkan jumlah energi yang digunakan, tetapi juga menilai kualitas energi serta potensi kerugian yang terjadi selama proses berlangsung (Dincer and Rosen, 2013). 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. Oleh karena itu, analisis eksergi digunakan sebagai metode evaluasi yang lebih mendalam. Analisis ini

didasarkan pada hukum termodinamika kedua dan mampu mengevaluasi tidak hanya jumlah energi, tetapi juga kualitas energi yang dapat 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 and Boles, 2015). 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.

Sampai saat ini, penelitian terkait kristalisasi produk instan herbal lebih banyak berfokus pada jahe dan gula pasir, serta menggunakan sistem pemanas berbasis gas LPG. Belum ditemukan penelitian yang secara mendalam membahas kristalisasi minuman instan berbasis kombinasi temulawak dan daun sirsak menggunakan gula kelapa, sistem pemanas induksi, dengan kajian model kinetika dan analisis eksergi. Dengan demikian, penelitian ini berpotensi menghasilkan produk minuman serbuk fungsional berbahan temulawak dan daun sirsak dengan pemanis gula kelapa yang optimal dari segi mutu sensori, aktivitas fungsional, efisiensi energi dan kestabilan kristalisasi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan produk herbal berbasis keanekaragaman hayati lokal Indonesia, serta memberikan rujukan bagi industri pangan dalam merancang inovasi produk alami dan efisien energi.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap laju kristalisasi pada proses pembuatan minuman serbuk temulawak dan daun sirsak?
2. Model kinetika kristalisasi matematis mana yang paling sesuai untuk merepresentasikan proses kristalisasi minuman serbuk temulawak dan daun sirsak secara akurat berdasarkan data hasil penelitian?
3. Bagaimana penerapan analisis eksergi dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi energi pada proses kristalisasi minuman serbuk temulawak dan daun sirsak menggunakan kompor induksi induksi?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap laju kristalisasi pada proses pembuatan minuman serbuk temulawak dan daun sirsak.
2. Menentukan model kinetika kristalisasi yang paling sesuai untuk merepresentasikan proses kristalisasi minuman serbuk temulawak dan daun sirsak secara akurat.
3. Mengevaluasi efisiensi energi pada proses kristalisasi minuman serbuk temulawak dan daun sirsak menggunakan pendekatan analisis eksergi pada sistem kompor induksi induksi.

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 minuman serbuk temulawak dan daun sirsak.
2. Memberikan informasi untuk 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 minuman serbuk temulawak dan daun sirsak menggunakan kompor induksi induksi.
4. Memberikan kontribusi dalam pengembangan produk herbal fungsional berbasis keanekaragaman hayati lokal Indonesia yang efisien dari segi energi dan dapat diterapkan pada skala industri.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada proses kristalisasi minuman serbuk instan temulawak–daun sirsak dengan pengadukan manual menggunakan spatula kayu yang dilakukan secara kontinu, di mana kecepatan pengadukan tidak dikontrol secara kuantitatif dan tidak dijadikan sebagai variabel penelitian. Analisis eksergi dibatasi pada sistem larutan dan wadah pemasakan (wajan), sedangkan kumparan

induksi dan lingkungan eksternal dianggap berada di luar sistem. Analisis eksergi yang dilakukan bersifat komparatif antarperlakuan, bukan untuk menentukan nilai eksergi absolut, serta tidak dilakukan pemetaan distribusi suhu maupun analisis medan elektromagnet.