

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi Robusta

Kopi robusta merupakan salah satu varietas utama yang berasal dari spesies *Coffea canephora* (Azmi & Handriatni, 2018). Tanaman ini ideal dibudidayakan pada daerah berketinggian 100–600 meter di atas permukaan laut dengan kisaran suhu lingkungan 21–24 °C (Supriadi & Pranowo, 2015). Secara morfologis, biji kopi robusta berbentuk cenderung membulat dengan lengkungan yang lebih tebal dan ukuran fisik yang lebih besar dibandingkan kopi arabika (Priyantono *et al.*, 2022). Kopi ini memiliki profil aroma yang kuat, tekstur biji yang lebih kasar, tingkat keasaman yang lebih rendah, serta kadar kafein yang lebih tinggi (Herlinawati, 2020). Berbagai senyawa bioaktif seperti alkaloid, saponin, tanin, kafein, dan fenol juga terkandung di dalam matriks bijinya (Wigati *et al.*, 2018).

Green bean atau biji kopi beras diperoleh dari hasil pengolahan buah kopi (*coffee cherry*) yang telah matang sempurna. Buah kopi yang masih mentah umumnya berwarna hijau, kemudian bertransformasi menjadi merah tua atau keunguan saat matang, bahkan berwarna kuning hingga oranye pada genotipe tertentu. Struktur perikarp membungkus lapisan mesokarp luar (daging buah) yang bertekstur lembut kekuningan, berserat, dan manis (Wiraputra, 2024). Proses pengeringan green bean dapat dilakukan melalui penjemuran di bawah sinar matahari langsung maupun menggunakan bantuan alat pengering mekanis hingga kadar airnya menyusut ke rentang 11–12% sebelum memasuki tahap penyimpanan. Pengondisian kadar air green bean hingga di bawah 11% beserta penerapan operasi pra-pemrosesan sangat penting untuk menghambat reaksi enzimatik, pembusukan mikroba, dan oksidasi lipid, sehingga penurunan kualitas selama masa penyimpanan dan pengangkutan dapat dicegah (Cong *et al.*, 2020).

2.2 Fermentor

Fermentor merupakan sebuah alat yang dirancang khusus untuk menciptakan lingkungan terkontrol bagi berlangsungnya proses biologis, baik melalui aktivitas mikroorganisme maupun reaksi enzimatik (Schmid *et al.*, 2022).

Prinsip utama pengoperasian alat ini terletak pada kemampuannya dalam memanipulasi parameter fisik dan kimia, terutama suhu dan kelembapan, guna mencapai hasil metabolisme yang konsisten. Dalam pengolahan pascapanen, alat ini berfungsi mengontrol degradasi lapisan lendir (*mucilage*) serta mendukung sintesis senyawa prekursor aroma dan rasa penting (Moncayo-Palacios *et al.*, 2025).

Mekanisme kerja fermentor didasarkan pada prinsip pindah panas (*heat transfer*). Pindah panas terjadi melalui mekanisme konduksi pada dinding bejana dan konveksi antara media pemanas dengan bahan kopi yang diolah. Fermentor sering kali menggunakan sistem *water jacket* untuk mendistribusikan panas secara merata dan mencegah terjadinya panas berlebih (*overheating*) yang dapat merusak buah kopi. Pindah massa melibatkan pergerakan uap air dari dalam biji kopi ke ruang udara di dalam bejana. Meskipun pada beberapa desain fermentor tidak dilengkapi dengan sistem pembuangan udara (*exhaust*) aktif, pindah massa tetap dapat terjadi melalui sirkulasi udara alami atau pertukaran udara secara manual saat dilakukan pengamatan sampel (Suherman *et al.*, 2024). Fermentor dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Alat Fermentor

Komponen utama yang mendukung efektivitas fermentor meliputi bejana utama, sistem pengendali suhu (*heater* dan *sensor*), serta isolasi termal. Pengendalian suhu sangat penting untuk memastikan stabilitas lingkungan fermentasi. Stabilitas dapat difungsikan sebagai sistem pengeringan mekanis tipe tumpukan (*fixed bed dryer*). Dalam kondisi lingkungan terkontrol, fermentor

mampu mempercepat laju penurunan kadar air pada fase awal pengeringan dengan menjaga efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Penggunaan fermentor sebagai alat pengering otomatis tidak hanya mempersingkat waktu proses pascapanen, tetapi juga meminimalkan risiko kontaminasi lingkungan dan memastikan nilai *bulk density* serta mutu *cupping test* tetap memenuhi standar kopi specialty (Cruz-Ospina *et al.*, 2023; Meja *et al.*, 2025).

2.3 Pengeringan

Pengeringan biji kopi merupakan salah satu tahapan penting dalam rangkaian proses pengolahan pascapanen biji kopi. Proses ini bertujuan untuk menurunkan kandungan air di dalam bahan dari kondisi awal sekitar 60%–65% hingga mencapai kadar air kesetimbangan sebesar 12% untuk menjaga mutu fisik dan memperpanjang daya simpan biji kopi (Yuliati *et al.*, 2018). Durasi pengeringan kopi berpengaruh terhadap kualitas akhir yang dihasilkan. Proses pengeringan yang berlangsung terlalu cepat atau terlalu lambat dapat memicu kerusakan pada karakteristik sensoris, penurunan intensitas aroma, maupun penurunan ketahanan simpan biji kopi.

2.1.1 Kadar air

Kadar air merupakan salah satu parameter penting yang menentukan stabilitas produk selama masa penyimpanan. Bahan hasil pertanian dengan kadar air yang tinggi cenderung memiliki umur simpan yang relatif pendek, sedangkan kadar air yang rendah mampu memperpanjang umur simpan bahan (Saolan *et al.*, 2020). Jika kadar air melebihi batas standar, mutu biji kopi dikategorikan buruk, sedangkan kadar air yang berada di bawah atau sesuai standar menunjukkan mutu penyimpanan yang baik (Kembaren & Muchsin, 2021). Durasi penurunan kadar air biji kopi dipengaruhi oleh metode pengeringan, kondisi cuaca selama pengujian, tingkat temperatur, dan laju aliran udara yang digunakan (Santoso *et al.*, 2023).

2.1.2 Laju pengeringan

Laju pengeringan merupakan jumlah massa air yang berhasil diuapkan dan dipisahkan dari dalam bahan padat selama proses pengeringan berlangsung per satuan waktu (Tanggasari & Jatnika, 2023). Laju pengeringan mengacu pada

tingkat penurunan atau hilangnya kandungan air dari suatu bahan dalam satuan waktu tertentu (Orilda *et al.*, 2022). Nilai laju pengeringan berbanding lurus dengan besarnya perubahan kadar air yang terjadi di dalam bahan. Karakteristik laju pengeringan mekanis dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti suhu udara pengering, tekanan, kelembapan relatif, dan kecepatan aliran udara di sekitar bahan (Dipa *et al.*, 2021). Selain itu, luas permukaan kontak bahan dan perbedaan tekanan uap air antara bagian dalam bahan dengan lingkungan juga menjadi faktor penentu (Maulana *et al.*, 2024). Perhitungan nilai laju pengeringan dapat menggunakan rumus perhitungan yang dikemukakan oleh (Susana *et al.*, 2023) yaitu:

$$m_p = \frac{m_w}{t}$$

m_p = Laju pengeringan (kg/h)

m_w = Rasio massa air yang diuapkan (kg)

t = Waktu pengeringan (jam)

2.1.3 Efisiensi pengeringan

Efisiensi pengeringan merupakan rasio perbandingan antara kuantitas energi panas yang dimanfaatkan secara efektif untuk menguapkan kandungan air bahan dengan total masukan energi yang disuplai oleh sistem pengering (Suhelmi *et al.*, 2022). Efisiensi pengeringan merupakan suatu ukuran mengenai seberapa efisien sebuah mesin mengubah energi panas yang diterima menjadi energi kerja Cengel & Boles (2002). Peningkatan nilai efisiensi termal menunjukkan semakin sedikitnya konsumsi energi yang dibutuhkan untuk menguapkan setiap kilogram air dari dalam bahan (Zamharir *et al.*, 2016). Kinerja efisiensi ini dipengaruhi oleh laju konsumsi energi pemanas, durasi total pengeringan, dan kapasitas massa bahan yang diolah (Setyadi *et al.*, 2021). Perhitungan efisiensi pengeringan menurut (Çengel *et al.*, 2015) mengacu pada perbandingan energi yang digunakan untuk menguapkan air dengan energi yang diberikan ke sistem pengering.

$$\eta = \frac{Q_{useful}}{Q_{in}} \times 100\%$$

η = Efisiensi Pengeringan

Q_{useful} = Total energi panas yang dibutuhkan (kJ)

Q_{in} = Total energi panas yang masuk (kJ)

Pada sistem pengering fermentor berbasis elemen pemanas listrik, total energi listrik yang masuk ke dalam sistem Q_{in} dihitung dari daya pemanas (P) yang bekerja selama durasi waktu tertentu (t) (Çengel *et al.*, 2015):

$$Q_{in} = P \times t$$

Total energi berguna (Q_{useful}) diturunkan dari Hukum Pertama Termodinamika untuk sistem tertutup (*closed/batch system*). Energi panas listrik yang diserap oleh biji kopi di dalam fermentor terbagi menjadi dua bentuk, yaitu panas sensibel melalui konduksi ($Q_{konduksi}$) untuk menaikkan suhu bahan dan panas laten melalui konveksi ($Q_{konveksi}$) untuk menguapkan air (Çengel *et al.*, 2015):

$$Q_{useful} = Q_{konduksi} + Q_{konveksi}$$

Dengan menyatukan komponen energi masuk (Q_{in}) dan penjabaran energi berguna (Q_{useful}), maka persamaan efisiensi pindah panas pengeringan dijabarkan secara utuh menjadi:

$$\eta = \frac{Q_{useful}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \left(\frac{Q_{konduksi} + Q_{konveksi}}{Q_{in}} \right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(\frac{(m_w \times C_p \times \Delta T) + (m_w \times h_{fg})}{P \times t} \right) \times 100\%$$

2.4 Pindah Panas

Pindah panas adalah proses pemindahan energi panas atau *thermal* dari satu tempat ke tempat lain yang disebabkan oleh perbedaan suhu antara kedua tempat tersebut (Jamilah *et al.*, 2021). Pindah panas pada pengeringan kopi umumnya terjadi melalui tiga mekanisme utama yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Namun, pada pengeringan mekanis seperti rotary dryer atau rumah pengering, pindah panas konveksi menjadi dominan. Udara panas yang dialirkan secara paksa melalui blower mentransferkan energi panas ke permukaan biji kopi sehingga suhu biji kopi naik dan air di dalamnya menguap (Dipa *et al.*, 2021; Yuliati *et al.*, 2018).

2.4.1 Konduksi

Konduksi adalah proses pindah panas secara langsung dari bagian benda yang bersuhu lebih tinggi ke bagian yang bersuhu lebih rendah melalui kontak fisik antar partikel tanpa disertai pindah molekul (Prihartono & Irhamsyah, 2022). Menurut Riadi *et al.*, (2021) dan Wijaya *et al.*, (2019), konduksi terjadi akibat difusi energi secara perlahan melalui titik-titik dengan suhu berbeda, dengan media penghantar yang bersifat padat atau cair. Pada pengeringan kopi, mekanisme konduksi berperan dalam mengalirkan panas dari dinding plat logam pemanas menuju permukaan biji kopi yang bersentuhan langsung. Tingkat efektivitas konduksi dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal material logam, ketebalan hamparan, dan luas permukaan kontak (Arifin *et al.*, 2020). Energi panas konduksi yang diserap oleh biji kopi dimanfaatkan sebagai panas sensibel ($Q_{sensibel}$), yaitu energi untuk menaikkan suhu bahan tanpa mengubah fasenya. Berdasarkan prinsip perubahan energi dalam (ΔU) pada zat padat dan cair (*incompressible substances*), besarnya panas sensibel dirumuskan oleh (Çengel *et al.*, 2015) sebagai berikut:

$$Q_{konduksi} = Q_{sensibel} = m_w \times c_p \times \Delta T$$

$Q_{konduksi}$ = Panas sensibel diserap bahan (kJ)

m_w = Selisih massa biji kopi (kg)

c_p = Kalo jenis (kJ/kg°C)

ΔT = Selisih suhu (°C)

2.4.2 Konveksi

Konveksi adalah proses pindah panas yang terjadi akibat pergerakan zat. Proses konveksi atau aliran zat ini berlangsung ketika terjadi perubahan suhu pada suatu zat. Proses pindah panas secara konveksi ini dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu koefisien konveksi termal, luas permukaan zat perantara, dan perubahan suhu yang mengalami aliran panas (Lusiani *et al.*, 2019). Syarat utama berlangsungnya pindah panas konveksi adalah kehadiran aliran massa fluida, baik yang mengalir secara alami akibat perbedaan densitas maupun dipaksa menggunakan bantuan alat mekanis (Riupassa & Allo, 2019). Pengeringan konveksi paksa memiliki tingkat

efisiensi yang lebih tinggi karena aliran udara mampu menyapu uap air di permukaan bahan dengan cepat (Sary, 2017). Energi panas konveksi yang diserap sistem dimanfaatkan sebagai panas laten penguapan (Q_{laten}), yaitu energi yang dibutuhkan untuk mengubah wujud air di dalam biji kopi dari cair menjadi uap. Besarnya energi perubahan fase (*enthalpy of vaporization*) dirumuskan oleh (Çengel *et al.*, 2015) sebagai berikut:

$$Q_{konveksi} = Q_{laten} = m_w \times h_{fg}$$

$Q_{konveksi}$ = Panas laten penguapan air (kJ)

m_w = Selisih massa biji kopi (kg)

h_{fg} = Panas laten penguapan (kJ/kg)

2.4.3 Radiasi

Radiasi merupakan proses pindah kalor dari suatu benda menuju media lain tanpa membutuhkan kehadiran medium perantara. Pindah energi ini dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik (Lusiani *et al.*, 2019). Faktor-faktor yang mempengaruhi laju pindah kalor radiasi adalah suhu pada permukaan benda yang memancarkan dan menyerap radiasi, emisivitas (daya serap) permukaan benda yang memancarkan, pemantulan, penyerapan, transmisi, dan faktor jarak pandang antara permukaan yang memancarkan dan yang diradiasi. Kondisi fisik permukaan benda yang memancarkan dan menyerap radiasi mempengaruhi laju pindah kalor dalam proses radiasi (Paminto & Yulianti, 2021).

2.5 Parameter Mutu Biji Kopi

2.5.1 Bulk density

Bulk density merupakan salah satu sifat fisik bahan hasil pertanian yang menyatakan perbandingan antara berat atau massa total bahan dengan total volume ruang yang ditempatinya, termasuk ruang kosong (porositas) di antara tumpukan bahan tersebut (Achadiyah, 2017). Pengukuran *bulk density* ini sangat penting dalam bidang teknik pascapanen karena berkaitan langsung dengan perhitungan kapasitas ruang penyimpanan (gudang/silo), desain wadah pengemasan, serta dimensi ruang pada alat pengering maupun fermentor (Sahin & Sumnu, 2005).

Nilai *bulk density* pada biji-bijian, termasuk biji kopi, sangat dipengaruhi oleh kandungan kadar air di dalam bahan (Chandrasekar & Viswanathan, 1999). Selama proses pengeringan, air di dalam biji kopi akan menguap sehingga terjadi penurunan massa dan penyusutan ukuran fisik biji. Menurut Franca *et al.*, (2005), perubahan kadar air berbanding lurus dengan perubahan nilai *bulk density*. Ketika kadar air biji kopi tinggi, massa biji bertambah signifikan akibat penyerapan air, yang menyebabkan nilai *bulk density* meningkat. Sebaliknya, seiring berkurangnya kadar air selama proses pengeringan berlangsung, *bulk density* biji kopi secara umum akan mengalami penurunan karena massa total tumpukan berkurang, meskipun volume wadahnya tetap sama. Semakin rendah *bulk density* maka akan semakin rendah kadar airnya (Hatiningsih *et al.*, 2022).

2.5.2 Cupping test

Cupping test adalah metode standar yang digunakan untuk menilai kualitas kopi berdasarkan evaluasi sensori oleh para ahli (*cupper*) menggunakan protokol yang telah distandarisasi oleh *Specialty Coffee Association of America* (SCAA). Penilaian ini penting untuk menentukan mutu kopi sebelum distribusi dan untuk menggambarkan profil rasa kopi secara ilmiah. Parameter utama yang dinilai adalah *fragrance, flavor, aftertaste, acidity, body, balance, uniformity, clean cup, sweetness, overall*, dan *defects*. Standar protokol cupping yang banyak digunakan merujuk pada (SCAA) yang mengembangkan format penilaian dan atribut yang harus diukur untuk mendapatkan penilaian yang objektif dan konsisten (Adam *et al.*, 2022). Setiap parameter dinilai dengan skala maksimal 10 poin, sehingga total skor maksimal adalah 100 poin. Total skor klasifikasi nilai kopi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Total skor klasifikasi kualitas kopi

<i>Total Score</i>	<i>Specialty Description</i>	<i>Classification</i>
95-100	<i>Exemplary</i>	<i>Super Premium Specialty</i>
90-94	<i>Oustanding</i>	<i>Premium Specialty</i>
85-89	<i>Excellent</i>	<i>Specialty</i>
80-84	<i>Very good</i>	<i>Premium</i>
75-79	<i>Good</i>	<i>Usual Good Quality</i>
70-74	<i>Fair</i>	<i>Average Quality</i>
60-70		<i>Exchange Grade</i>
50-60		<i>Commercial</i>

<i>Total Score</i>	<i>Specialty Description</i>	<i>Classification</i>
40-50		<i>Bellow Grade</i>
<40		<i>Off Grade</i>

Sumber: SCAA, 2005

Pelaksanaan *cupping test* bertujuan untuk tiga hal utama yaitu menentukan perbedaan sensori antara sampel kopi, menggambarkan profil rasa kopi secara detail, dan menentukan preferensi produk. Dengan metode ini, kualitas kopi dapat diklasifikasikan secara ilmiah sehingga membantu produsen dan konsumen dalam memilih kopi dengan mutu terbaik. Penilaian *cupping test* sangat dipengaruhi oleh faktor geografis, proses pascapanen, dan teknik sangrai yang diterapkan pada biji kopi. *Cupping test* juga berperan penting dalam proses distribusi kopi spesialti, karena hasil evaluasi menjadi dasar untuk memastikan mutu kopi yang akan dipasarkan (Adam *et al.*, 2022).

Cupping test juga digunakan untuk mengevaluasi pengaruh berbagai variabel seperti tingkat kematangan biji kopi, ukuran biji, dan metode pengolahan terhadap kualitas rasa kopi. Misalnya, penelitian pada kopi robusta menunjukkan bahwa *cupping test* dapat memberikan skor yang menggambarkan karakteristik sensori kopi berdasarkan perlakuan yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa *cupping test* tidak hanya penting untuk penilaian akhir, tetapi juga sebagai alat evaluasi dalam proses produksi kopi untuk meningkatkan kualitas cita rasa secara berkelanjutan (Widyasari *et al.*, 2023).