

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tempe merupakan salah satu produk fermentasi khas Indonesia yang telah lama dikenal sebagai sumber protein nabati bernilai tinggi (Kristiadi & Lunggani, 2022). Tempe juga merupakan produk hasil fermentasi kedelai dengan menggunakan kapang *Rhizopus* sp. Indonesia saat ini dikenal sebagai produsen sekaligus konsumen tempe terbesar di dunia, dengan jumlah produsen mencapai sekitar 81 ribu unit usaha dengan memproduksi 2,4 juta ton tempe pertahun yang tersebar di berbagai wilayah. Kebutuhan kedelai nasional untuk pembuatan tempe dan tahu mencapai sekitar 80 persen dari total kedelai impor yang masuk ke Indonesia (BSN, 2012). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, tingkat konsumsi tempe masyarakat Indonesia rata-rata mencapai 0,142 kg per kapita per minggu (BPS, 2025). Fakta ini menunjukkan bahwa tempe menjadi sumber protein nabati utama yang digemari masyarakat karena harga yang ekonomis dan mudah diperoleh (Kristiadi & Lunggani, 2022).

Kapang *Rhizopus* spp. Berperan penting dalam proses fermentasi tempe, tidak hanya dalam pembentukan tekstur dan cita rasa, tetapi juga sebagai penghasil senyawa bioaktif melalui aktivitas enzim protease yang menghidrolisis protein kedelai menjadi peptida bioaktif (Zahroh

et al., 2025). Selama fermentasi berlangsung, kapang menguraikan protein menjadi peptida dan asam amino bebas, serta juga menghasilkan berbagai metabolit yang bermanfaat bagi kesehatan (Sari *et al.*, 2024). Hal ini menjadikan tempe tidak hanya berfungsi sebagai bahan pangan, tetapi juga memiliki potensi yang dikembangkan sebagai sumber bahan aktif alami. Senyawa seperti asam laktat, asam asetat, peptida antimikroba, dan senyawa fenolik yang terbentuk selama fermentasi berkontribusi terhadap kemampuan menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen (Kusnadi & Widodo, 2020). Setiap strain *Rhizopus* spp. memiliki kemampuan enzimatik yang berbeda sehingga menghasilkan profil senyawa bioaktif yang beragam pula (Barus *et al.*, 2019).

Secara morfologis, *Rhizopus* sp. memiliki struktur anatomi yang terdiri dari beberapa komponen, meliputi rhizoid, stolon, sporangiofor, dan sporangium. Karakteristik makroskopis menunjukkan memiliki hifa berwarna putih dengan miselium bertekstur halus yang membentuk struktur filamen (Rosidah *et al.*, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Faradita (2024) telah mengidentifikasi bahwa *Rhizopus* sp. isolat R7 menunjukkan karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan spesies kapang yang berbagai daerah, antara lain Bogor (R1), Boyolali (R2), Kediri (R3), Mojokerto (R4), Surabaya (R5), Ngajuk (R6), Yogyakarta (R7), Bandung (R8), Majalengka (R9), dan Wonogiri (R10) dalam menghasilkan senyawa antibakteri terhadap *Escherichia coli*. Hasil

penelitian tersebut menunjukkan bahwa *Rhizopus* sp. R7 memiliki kemampuan aktivitas antibakteri terhadap *Escherichia coli*. *Rhizopus* sp. R7 dipilih karena memiliki potensi menghasilkan metabolit unik yang berbeda dari strain komersial.

Kapang *Rhizopus* pada tempe memiliki banyak manfaatnya dalam mengurangi diare yang disebabkan oleh *Escherichia coli* dan *Salmonella typhi* (Khikmah & Haloho, 2021). Kemampuan ini sangat penting karena diare masih menjadi salah satu masalah kesehatan yang sering terjadi dan berkaitan erat dengan infeksi mikroba pada saluran pencernaan. Menurut Brooks *et al.* (2012), penyakit diare dapat dipicu oleh infeksi beberapa bakteri patogen, seperti *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Shigella dysenteriae*, dan *Vibrio cholerae*. Penelitian yang dilakukan oleh Babu *et al.* (2009) menunjukkan bahwa masyarakat Indonesia yang mengonsumsi tempe secara rutin cenderung lebih terlindungi dari penyakit disentri serta gangguan pada sistem pencernaan. Selain itu, Karmini *et al.* (1987) melaporkan bahwa konsumsi tempe dapat membantu menurunkan risiko diare yang disebabkan oleh infeksi bakteri enteropatogenik *Escherichia coli* O125K70(B)H19. Senyawa fenolik dan isoflavon yang teridentifikasi melalui analisis TLC dan HPLC dari ekstrak tempe hasil fermentasi *Rhizopus* spp. terbukti memiliki aktivitas antimikroba terhadap *Escherichia coli* dengan membentuk zona hambat yang nyata (Zahroh *et al.*, 2025). Menurut penelitian Fitriani & Suryadi, (2021) isoflavon

dan peptida yang terkandung dalam ekstrak *Rhizopus* spp. merupakan senyawa kandidat utama agen antimikroba. Proses fermentasi dengan *Rhizopus* sp. R7 menghasilkan senyawa-senyawa yang berpotensi bersifat antibakteri, namun stabilitas senyawa tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi pengolahan pasca-fermentasi.

Suhu dan lama pengeringan merupakan dua faktor kritis yang berpengaruh terhadap kadar udara, karakteristik fungsional, serta kandungan senyawa isoflavon dan peptida bioaktif pada tepung tempe (Wulandari, 2020). Pemilihan suhu pengeringan yang terlalu tinggi terbukti menyebabkan degradasi senyawa fenolik secara signifikan, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil pengeringan menggunakan oven yang menghasilkan kadar fenolik paling rendah dibandingkan metode pengeringan lainnya (Nurhayati *et al.*, 2021). Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah juga dapat menurunkan stabilitas senyawa bioaktif karena kondisi lembab yang masih tersisa dapat mempercepat aktivitas enzimatis yang merusak komponen aktif (Purbosari *et al.*, 2020). Diperlukan pengaturan suhu pengeringan yang optimal untuk menghasilkan serbuk tempe fermentasi yang tepat. Serbuk herbal tempe memiliki keunggulan karena lebih mudah diaplikasikan dalam berbagai formulasi pangan maupun farmasi, dan proses penepungan dengan metode yang tepat dapat mempertahankan kandungan senyawa bioaktif seperti isoflavon dan peptida antimikroba secara optimal (Wulandari, 2020). Pengujian aktivitas antimikroba ekstrak tempe dilakukan dengan

metode difusi sumuran, dengan *Escherichia coli* sebagai salah satu bakteri uji utama yang merepresentasikan bakteri penyebab diare (Zahroh *et al.*, 2025). Analisis menggunakan GC-MS memungkinkan kuantifikasi berbagai metabolit volatil secara cepat pada produk fermentasi, sehingga perubahan profil senyawa dapat diidentifikasi secara komprehensif (Pinu *et al.*, 2017). Hasil pengujian ini nantinya tidak hanya menggambarkan efektivitas antimikroba, tetapi juga stabilitas kimia dari senyawa aktif yang terkandung di dalamnya.

Penelitian mengenai pengaruh perbedaan suhu pengeringan terhadap aktivitas antimikroba pada tempe fermentasi masih terbatas, khususnya pada formulasi menjadi serbuk herbal. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada karakteristik kimia dan fisik tempe (Romulo *et al.*, 2021), sedangkan hubungan antara parameter pengeringan, kandungan senyawa bioaktif, dan efektivitas antimikroba belum banyak dieksplorasi. Padahal, pengeringan merupakan tahapan penting dalam upaya pengembangan produk berbasis fermentasi menjadi bahan herbal kering yang lebih praktis dan tahan lama.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu pengeringan (50°C, 60°C, dan 70°C) terhadap aktivitas antimikroba serbuk tempe fermentasi *Rhizopus* sp. R7 terhadap *Escherichia coli*?
2. Senyawa bioaktif apa saja yang teridentifikasi melalui analisis GC-MS pada serbuk tempe fermentasi *Rhizopus* sp. R7 dengan suhu pengeringan terbaik berdasarkan aktivitas antimikroba tertinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu pengeringan (50°C, 60°C, dan 70°C) terhadap aktivitas antimikroba serbuk tempe fermentasi *Rhizopus* sp. R7 terhadap *Escherichia coli*.
2. Mengidentifikasi senyawa bioaktif melalui analisis GC-MS pada serbuk tempe fermentasi *Rhizopus* sp. R7 dengan suhu pengeringan terbaik berdasarkan aktivitas antimikroba tertinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

a. Manfaat Teoretis

- 1) Memberikan informasi ilmiah tentang pengaruh perbedaan suhu pengeringan terhadap stabilitas metabolit bioaktif serbuk tempe fermentasi *Rhizopus* sp. R7.
- 2) Menambah wawasan di bidang mikrobiologi pangan dan bioteknologi terkait aktivitas antimikroba bahan fermentatif.

- 3) Menjadi referensi ilmiah tentang hubungan antara proses pengeringan dan kandungan senyawa bioaktif berdasarkan analisis GC-MS.

b. Manfaat Praktis:

- 1) Menjadi acuan dalam menentukan suhu pengeringan optimal untuk menghasilkan serbuk tempe fermentasi dengan aktivitas antimikroba stabil.
- 2) Memberikan dasar bagi pengembangan produk serbuk herbal berbasis fermentasi yang tahan simpan dan efektif sebagai bahan alami antimikroba.
- 3) Menjadi referensi bagi penelitian lanjutan mengenai formulasi, penyimpanan, dan pemanfaatan bahan fermentatif lokal Indonesia.