

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kacang Merah (*Phseolus vulgaris* L.)

Kacang merah (*Phseolus vulgaris* L.) adalah salah satu legum yang banyak dibudidayakan dan dikonsumsi secara luas di berbagai negara, termasuk Indonesia. Kacang merah dikenal karena warnanya yang merah keunguan dan bentuknya yang khas, dan memiliki kandungan gizi yang tinggi, sehingga berpotensi besar sebagai bahan pangan fungsional. Secara nutrisi kacang merah kaya akan protein sebesar 20-25% dari berat kering, dan karbohidrat kompleks sebanyak 50-60%, serta memiliki serat pangan yang signifikan. Kandungan protein yang tinggi menjadikan kacang merah sebagai salah satu alternatif sumber protein nabati yang penting, terutama bagi masyarakat yang menerapkan pola makan vegetarian atau vegan (Jayanti *et al.*, 2024).



Gambar 2.1 Kacang Merah
Sumber. Dokumen Pribadi

Kacang merah kaya akan protein, serat, rendah lemak, dan mikronutrien penting seperti zat besi, magnesium, *folat*, fosfor, tembaga, dan kalium. Kacang merah juga mengandung senyawa bioaktif seperti antosianin, *flavonoid*, asam *fenolat*, dan *isoflavin* yang berfungsi sebagai antioksidan dan berpotensi menurunkan penyakit degeneratif serta mendukung keseimbangan hormon (Maryam *et al.*, 2024). Kacang merah mengandung senyawa anti nutrisi yang

dapat mengganggu pencernaan, fermentasi dengan kapang (*Rhizopus oligosporus*) selama 48 jam terbukti efektif mengurangi senyawa anti nutrisi, meningkatkan ketersediaan hayati nutrisi, meningkatkan kualitas gizi, serta meningkatkan aktivitas antioksidan dan sifat fungsional kacang merah (Nur *et al.*, 2021).

2.2 Tempe

Tempe merupakan produk pangan tradisional Indonesia yang diolah melalui proses fermentasi biji-bijian, umumnya kedelai, menggunakan kapang dari genus (*Rhizopus*), terutama (*Rhizopus oligosporus*). fermentasi ini menghasilkan produk berbentuk padat, berwarna putih, dengan *miselium* kapang yang mengikat biji-biji menjadi satu. Tempe dikenal luas sebagai sumber protein nabati yang murah, bergizi, dan mudah dicerna, sehingga memiliki peranan penting dalam pola makan Masyarakat Indonesia, khususnya sebagai alternatif protein hewani (Aryanta, 2023)

Tempe kacang kedelai (*Glycine max*) dibuat dari fermentasi yang terkenal unggul dalam hal kandungan gizi, terutama protein. Penelitian menunjukkan bahwa tempe kacang kedelai dapat mencapai kadar protein tertinggi hingga 44,03%. Sebagai perbandingan, tempe kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.) juga merupakan sumber protein yang baik, namun kadar protein lebih rendah dari tempe kedelai. Kacang merah memiliki potensi gizi yang signifikan, ada beberapa komponen nutrisi yang menunjukkan kadar yang lebih tinggi seperti kadar karbohidrat mencapai 56,58%, kadar air 8,48%, dan pati 18,9% (Erna *et al.*, 2021)

Proses pembuatan tempe kedelai dan tempe kacang merah pada dasarnya sama yaitu fermentasi menggunakan kapang jenis *Rhizopus sp.*, yang paling umum adalah *Rhizopus oligosporus* atau *Rhizopus oryzae*. Proses dimulai dari pencucian, perendaman, dan perebusan biji untuk menurunkan pH, melunakkan tekstur, serta menghambat mikroba kontaminan. Setelah didinginkan dan dikeringkan, biji dicampur ragi tempe lalu dibungkus dengan

daun pisang atau plastik berlubang agar oksigen tetap tersedia. Fermentasi berlangsung selama 24-48 jam pada suhu 30-35°C sehingga terbentuknya *miselium* putih yang menyatukan biji menjadi tempe padat dan lunak..(Aýun *et al.*, 2022).

2.3 Ruang Fermentasi

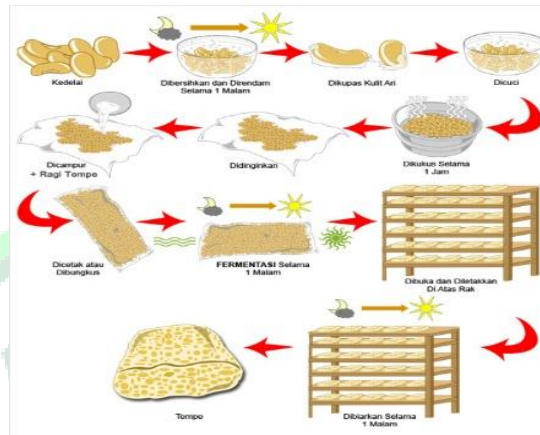
Fermentasi merupakan proses penting pembuatan tempe yang melibatkan aktivitas mikroorganisme untuk mengubah tempe menjadi produk pangan yang memiliki nilai tambah dari segi rasa dan tekstur. Mikroorganisme utama yang berperan dalam proses fermentasi tempe adalah kapang dari genus *Rhizopus*, terutama *Rhizopus oligosporus* dan *Rhizopus oryzae*. Kedua jenis jamur ini digunakan sebagai starter (inokulum) karena mampu tumbuh dengan cepat, membantu *miselium* yang padat, serta menghasilkan enzim-enzim seperti α -amilase yang membantu dalam proses pemecahan komponen kompleks kedelai menjadi senyawa yang mudah diserap oleh tubuh (Prasasti *et al.*, 2024)



Gambar 2.2 Rak Fermentasi
Sumber: alatpertanian.asia

Fermentasi tempe memerlukan kondisi yang terkontrol untuk mengoptimalkan pertumbuhan kapang jamur *Rhizopus sp.*, di mana suhu ideal berada dalam kisaran 30-35°C. Sementara kelembaban udara yang ideal yang menjaga ketersediaan air yang memadai bagi pertumbuhan *miselium* adalah sekitar 60-70%. Kondisi pH yang ideal berkisar 5,5 -6,5 karena keasaman ini

menghambat kontaminasi dan mendukung metabolisme kapang. Dengan kontrol kondisi lingkungan yang optimal, terutama suhu, waktu fermentasi ideal yang diperlukan untuk menghasilkan tempe matang dan berkualitas tinggi berkisar 25-48 jam (Aji *et al.*, 2024).



Gambar 2.3 Proses Fermentasi Tempe
Sumber: Blogger.com

2.4 Kualitas Tempe

Indikator kualitas tempe mencerminkan keberhasilan proses fermentasi yang dikendalikan oleh jamur *Rhizopus*. Penilaian mutu tempe dilakukan berdasarkan dua parameter utama yang saling berkaitan, yaitu tekstur dan warna. Tekstur yang padat menandakan pertumbuhan miselium yang baik, sedangkan warna putih bersih menunjukkan fermentasi berlangsung optimal tanpa kontaminasi. Parameter penting dalam menentukan mutu dan daya tarik tempek konsumen adalah tekstur dan warna (Fadlilah *et al.*, 2022).

Tekstur dan warna merupakan indikator penting dalam menilai kualitas tempe hasil fermentasi. Tekstur tempe ditentukan oleh kepadatan serta kekompakan *miselium* kapang *rhizopus* yang mengikat butiran kedelai sehingga membentuk massa padat dan tidak mudah hancur ketika dipotong. Warna juga menjadi parameter mutu yang mencerminkan keberhasilan fermentasi. Tempe yang berwarna putih bersih dengan *miselium* tumbuh seragam di seluruh permukaan, sebaliknya jika warna kehitaman atau kusam

biasanya muncul akibat fermentasi yang terlalu lama atau mulai terbentuknya spora (Erna *et al.*, 2021).

2.5 Teknologi *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah jaringan objek fisik (objek) yang terdiri dari sensor, aktuator, perangkat keras komputer, dan perangkat keras lainnya yang terhubung ke jaringan. Dengan terhubung ke jaringan, IoT dapat mengumpulkan, mengirimkan, dan menerima data tentang apa yang terjadi di sekitar mereka. Selain itu, IoT memungkinkan sistem digital untuk mengotomatisasi, mengawasi, dan mengontrol berbagai proses fisik secara *real time*. Secara umum, arsitektur (IoT) terdiri dari beberapa lapisan.

Lapisan perangkat terdiri dari sensor, aktuator, dan perangkat yang terintegrasi di dalamnya. Lapisan jaringan atau komunikasi terdiri dari lapisan jaringan yang mengirimkan data melalui protokol seperti WiFi, MQTT, Zigbee, LoRa, atau NB-IoT. Lapisan pemrosesan data terdiri dari *lapisan edge, fog, dan cloud computing*, yang pemrosesan data untuk menganalisis, menyimpan, dan membuat keputusan. Lapisan aplikasi terdiri dari lapisan karena model arsitektur untuk *edge* dan *fog computing* dapat mengurangi latensi dan beban pada jaringan pusat (cloud) dan memungkinkan respons lebih cepat terhadap perubahan kondisi lapangan, beberapa komentar menyatakan bahwa model ini semakin penting (Rehman *et al.*, 2022).



Gambar 2.4 *Internet of Things* (IoT)
Sumber: Dreamstime.com

IoT telah banyak digunakan dalam industri pangan dan pertanian untuk melacak proses produksi seperti penyimpanan, fermentasi, dan pengaturan lingkungan. Hal ini dilakukan untuk menjaga mutu, mengoptimalkan efisiensi, dan mengurangi kerugian atau kontaminasi. Misalnya, penelitian tersebut membuat prototipe sistem *fuzzy* berbasis (IoT) untuk melacak dan mengawasi proses fermentasi cuka apel. Sistem ini memiliki sensor pH, kandungan alkohol, dan aktuator untuk mengatur aliran udara dan pompa. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini lebih cepat dan tetap stabil dalam pH dibandingkan metode konvensional (Hamidah *et al.*, 2024).

2.6 Sensor suhu dan Kelembaban

Sensor suhu dan kelembaban memainkan peranan penting dalam sistem pemantauan kondisi lingkungan. Sensor suhu yang berbasis elemen termistor atau semikonduktor, berfungsi untuk mendeteksi perubahan temperatur udara dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Pengukuran suhu secara akurat sangat dibutuhkan dalam aplikasi seperti *smart home*, ruang penyimpanan, atau area budidaya, karena suhu yang tidak tepat dapat mempengaruhi hasil produksi atau kualitas penyimpanan.

Sensor kelembaban menggunakan prinsip kapasitif atau resistif untuk mendeteksi kadar uap di udara, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik. Kelembaban yang tepat sangat menentukan kestabilan lingkungan, misalnya dalam sistem pertanian cerdas (*smart farming*), penyimpanan bahan pangan, maupun ruang fermentasi. Kelembaban yang tinggi atau rendah bisa memicu pertumbuhan jamur, dehidrasi bahan, atau kerusakan struktur. Dalam penelitian lain yang memanfaatkan sensor DHT22 terintegrasi dengan mikrokontroler dan *platform* IoT, sistem ini berhasil memantau kelembaban secara *real time* dengan *error* yang kecil, menunjukkan bahwa teknologi ini layak digunakan dalam aplikasi pengendalian lingkungan yang sensitif (Akbar *et al.*, 2023).



Gambar 2.5 Bardi *Smart Temperature & Humidity*
Sumber: Amazon.in

2.7 Smart Life

Smart Life atau sering disebut *Smart Living* adalah bentuk penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan sistem komunikasi saling terhubung melalui jaringan internet untuk mengumpulkan, mengirim, dan menganalisis data secara otomatis. Melalui sistem ini, suatu proses dapat dipantau dan dikendalikan secara *real time* tanpa keterlibatan manusia secara langsung, sehingga menghasilkan sistem yang lebih efektif dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Secara umum, *Smart life* mencerminkan perkembangan menuju era digital yang menekankan otomatisasi dan konektivitas. Teknologi ini tidak hanya diterapkan pada rumah tangga (*smart home*), tetapi ada pada berbagai bidang lain seperti pertanian, kesehatan, transportasi dan industri pangan. Dalam bidang industri pangan, penerapan konsep *smart life* memungkinkan proses produksi berjalan lebih efisien karena berbagai parameter penting dapat dimonitor dan dikontrol secara otomatis seperti suhu, kelembaban, tekanan, dan waktu proses (Singh & Gupta, 2022).

2.8 Metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT)

Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) adalah metode yang digunakan untuk mempercepat proses penentuan umur simpan suatu produk dengan cara meningkatkan kondisi penyimpanan, seperti suhu, kelembaban, atau paparan Cahaya. Sehingga perubahan mutu atau degradasi produk terjadi lebih cepat dibandingkan dengan penyimpanan normal.

Prinsip kerja metode ALST adalah memperbesar laju kerusakan mutu dengan menaikkan suhu atau kelembaban sehingga parameter dapat diukur dalam rentan waktu singkat. Data laju penurunan mutu pada beberapa suhu penyimpanan kemudian digunakan dalam model kinetika reaksi, umumnya menggunakan persamaan *Arrhenius* untuk memprediksi umur simpan produk pada kondisi penyimpanan norma. Dengan demikian, metode ASLT memungkinkan produsen untuk menetapkan tanggal kadaluarsa, memilih kemasan yang tepat, dan mengoptimalkan sistem distribusi dengan waktu yang jauh lebih pendek dan biaya yang lebih kecil dibandingkan pengujian secara *real-time* (Ardyanti *et al.*, 2024).