

# OPTIMASI WAKTU DAN SUHU FERMENTASI UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TEMPE DI DESA PADARINGAN KEC. PURWADADI KAB. CIAMIS JAWA BARAT

Sri Mardiyati<sup>1\*</sup>, Pujiastuti<sup>2</sup>, Pandhu Pramarta<sup>3</sup>, Edward Alfin<sup>4</sup>

Program Studi Teknik Informatika<sup>1,2,3</sup>,  
Program Studi Pendidikan Matematika<sup>4</sup>  
FTIK Universitas Indraprasta PGRI<sup>1,2,3</sup>  
FMIPA Universitas Indraprasta PGRI<sup>4</sup>

\*Correspondent Author: [srilmardiyati05@gmail.com](mailto:srilmardiyati05@gmail.com)

Authors Email: [srilmardiyati05@gmail.com](mailto:srilmardiyati05@gmail.com),  
[poetie18@gmail.com](mailto:poetie18@gmail.com), [pandhu.unindra@gmail.com](mailto:pandhu.unindra@gmail.com),  
[edwardalfin@gmail.com](mailto:edwardalfin@gmail.com)

**Received:** April 12, 2026. **Revised:** May 26, 2026. **Accepted:** May 28, 2026. **Issue Period:** Vol.10 No.2 (2026), Pp. 755-765

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan waktu dan suhu fermentasi guna meningkatkan kualitas tempe yang diproduksi oleh perajin skala rumah tangga di Desa Padaringan, Kecamatan Purwadadi, Kabupaten Ciamis, Indonesia. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif melalui observasi langsung selama empat hari berturut-turut, dengan pengukuran yang dilakukan setiap tiga jam terhadap suhu, kelembapan relatif, serta karakteristik fisik dan sensorik tempe. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fermentasi mengikuti perkembangan biologis yang terdiri atas fase adaptasi, pertumbuhan aktif, pematangan optimal, dan degradasi. Pada 24 jam pertama, terjadi adaptasi mikroba dan pertumbuhan awal miselium pada suhu 27–32°C dan tingkat kelembapan 72–91%, yang menghasilkan tekstur lunak dan aroma ringan. Kualitas optimal dicapai pada rentang waktu 24–48 jam dengan suhu stabil 27–29°C dan kelembapan 80–88%, yang ditandai oleh miselium putih merata, tekstur padat, dan aroma khas yang menyenangkan. Setelah melewati 48 jam, kualitas tempe mulai menurun secara bertahap seiring meningkatnya degradasi metabolik, yang ditunjukkan oleh tekstur yang semakin lunak, perubahan warna, dan aroma yang lebih tajam. Pada 72–96 jam, tempe memasuki fase pasca-optimal sehingga tidak lagi layak untuk dikonsumsi. Temuan penelitian ini menegaskan bahwa durasi fermentasi merupakan faktor pengendalian yang paling praktis untuk menjaga konsistensi kualitas dalam sistem produksi tradisional. Penyesuaian waktu fermentasi sesuai kondisi lingkungan menjadi strategi yang efektif dan berbiaya rendah untuk meningkatkan kualitas produk, stabilitas, serta daya saing produsen tempe skala kecil.

**Kata kunci:** Fermentasi tempe, waktu fermentasi, optimasi suhu, kelembapan relatif, pengolahan pangan tradisional, dinamika pertumbuhan mikroba, kualitas pangan.



DOI: 10.52362/jisamar.v10i2.2430

Ciptaan disebarluaskan di bawah [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**Abstract:** *This study investigates the optimization of fermentation time and temperature to improve tempe quality produced by household-scale artisans in Padaringan Village, Purwadadi District, Ciamis Regency, Indonesia. A descriptive qualitative approach was employed through direct observation over four consecutive days, with measurements recorded every three hours for temperature, relative humidity, and physical-sensory characteristics of tempe. The results demonstrate that fermentation follows a biological progression consisting of adaptation, active growth, optimal maturation, and degradation phases. During the first 24 hours, microbial adaptation and early mycelial growth occurred under temperatures of 27–32°C and humidity levels of 72–91%, producing soft texture and mild aroma. Optimal quality was achieved between 24–48 hours at stable temperatures of 27–29°C and humidity of 80–88%, characterized by uniform white mycelium, compact texture, and pleasant characteristic aroma. Beyond 48 hours, quality gradually declined as metabolic degradation intensified, indicated by texture softening, discoloration, and sharper odor. By 72–96 hours, tempe entered a post-optimal phase unsuitable for consumption. These findings confirm that fermentation duration is the most practical control factor for maintaining consistent quality in traditional production systems. Adjusting fermentation time according to environmental conditions provides an effective, low-cost strategy to enhance product quality, stability, and competitiveness among small-scale tempe producers.*

**Keywords:** *tempe fermentation, fermentation time, temperature optimization, relative humidity, traditional food processing, microbial growth dynamics, food quality.*

## I. PENDAHULUAN

Tempe merupakan pangan fermentasi tradisional Indonesia yang memiliki nilai gizi tinggi dan berperan penting sebagai sumber protein nabati bagi masyarakat. Proses fermentasi kedelai oleh kapang *Rhizopus* sp. terbukti mampu meningkatkan ketersediaan protein terlarut, memperbaiki daya cerna, menurunkan senyawa antinutrisi, serta meningkatkan kandungan vitamin dan mineral sehingga menjadikannya sebagai pangan fungsional berbasis kearifan lokal [1]. Selain nilai gizi, tempe memiliki dimensi ekonomi yang penting karena sebagian besar produksinya dilakukan oleh usaha mikro dan kecil berbasis rumah tangga. Konsistensi kualitas produk menjadi faktor utama keberlanjutan usaha, sebab kualitas yang tidak stabil dapat menurunkan kepercayaan konsumen dan daya saing pasar [2]. Oleh karena itu, pengendalian mutu fermentasi merupakan aspek penting dalam produksi tempe tradisional.

Kualitas tempe dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kualitas bahan baku, jenis starter, sanitasi proses, serta kondisi lingkungan fermentasi. Di antara faktor tersebut, suhu dan kelembapan merupakan variabel kunci yang secara langsung memengaruhi pertumbuhan miselium kapang dan karakteristik fisik maupun sensori tempe [3]. Fermentasi merupakan proses biologis yang sensitif terhadap perubahan lingkungan; suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat pertumbuhan mikroba, sedangkan suhu terlalu tinggi dapat mempercepat metabolisme kapang sehingga fermentasi berlangsung terlalu cepat dan menurunkan mutu sensori, seperti munculnya aroma menyengat dan tekstur keras [4]. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa suhu optimal fermentasi tempe berada pada kisaran 28–32°C dengan kelembapan relatif tinggi yang mendukung pertumbuhan miselium secara merata [5]. Namun, kondisi optimal tersebut umumnya diperoleh dalam lingkungan laboratorium terkontrol, sedangkan pada praktik tradisional pengrajin jarang memiliki fasilitas pengatur suhu dan kelembapan sehingga proses fermentasi sangat dipengaruhi fluktuasi cuaca harian dan musiman (Elhalis et al., 2023).

Ketertinggalan pada kondisi lingkungan alami menyebabkan variasi kualitas tempe antarperiode produksi. Produk dapat mengalami ketidakmatangan, fermentasi terlalu cepat, atau bahkan over-fermentasi apabila waktu fermentasi tidak disesuaikan dengan kondisi suhu dan kelembapan aktual [7]. Kondisi ini juga terjadi pada produksi tempe rumah tangga di Desa Padaringan, Kecamatan Purwadadi, Kabupaten Ciamis, yang masih mengandalkan metode fermentasi tradisional tanpa alat kontrol lingkungan. Hasil observasi empiris selama empat hari menunjukkan fluktuasi suhu antara 27–32°C dan kelembapan relatif 69–88% dengan perubahan hampir setiap



tiga jam. Pada hari pertama, kondisi mendekati ideal dengan suhu sekitar 29°C dan kelembapan 75–80%, sehingga fermentasi berlangsung optimal dan tempe mencapai kualitas terbaik pada jam ke-18 dengan ciri miselium putih merata dan tekstur padat. Sebaliknya, pada hari kedua dan ketiga, kelembapan meningkat hingga 88% yang mempercepat pertumbuhan miselium tetapi meningkatkan risiko fermentasi terlalu cepat. Pada hari keempat, kombinasi suhu tinggi hingga 32°C dan penurunan kelembapan di bawah 70% pada fase akhir fermentasi memicu fermentasi lanjut yang menurunkan mutu tempe secara signifikan.

Temuan empiris tersebut menunjukkan bahwa kualitas tempe tidak hanya ditentukan oleh nilai suhu dan kelembapan tertentu, melainkan oleh kestabilan kondisi lingkungan fermentasi serta ketepatan waktu penghentian fermentasi. Oleh karena itu, pendekatan optimasi waktu fermentasi berbasis kondisi lingkungan nyata menjadi penting untuk diterapkan, khususnya pada produksi skala rumah tangga. Pendekatan penelitian kualitatif deskriptif dengan observasi berulang dinilai relevan karena mampu menangkap dinamika fermentasi secara kontekstual sesuai praktik pengrajin sehingga menghasilkan rekomendasi yang lebih aplikatif dibandingkan pendekatan laboratorium yang sangat terkontrol [8]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengoptimalkan waktu dan suhu fermentasi guna meningkatkan kualitas tempe di Desa Padaringan melalui analisis pengaruh suhu, lama fermentasi, serta interaksi keduanya terhadap mutu fisik dan organoleptik produk. Penelitian ini juga diarahkan untuk menentukan kombinasi kondisi fermentasi yang paling efektif serta menyusun rekomendasi standar operasional proses fermentasi tempe yang mudah diterapkan oleh pengrajin lokal.

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya tempe sebagai pangan lokal bernilai gizi tinggi yang berpotensi mendukung ketahanan pangan sekaligus meningkatkan pendapatan masyarakat. Proses fermentasi tradisional tanpa kontrol lingkungan sering menyebabkan kualitas tempe tidak konsisten dari segi warna, aroma, tekstur, maupun tingkat kematangan. Ketidaktepatan pengaturan suhu dan waktu fermentasi dapat menyebabkan produk cepat rusak atau tidak matang sempurna sehingga menurunkan daya simpan, minat konsumen, dan nilai jual. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan dasar ilmiah dalam menentukan kombinasi suhu dan waktu fermentasi optimal yang dapat diterapkan secara praktis, sehingga mampu meningkatkan konsistensi mutu, memperkuat daya saing produk lokal, serta mendorong kemandirian ekonomi masyarakat berbasis pangan tradisional.

## II. METODE DAN MATERI

Penelitian ini menggunakan desain kualitatif deskriptif yang bertujuan menggambarkan secara mendalam proses fermentasi tempe dalam kondisi produksi nyata, khususnya hubungan antara waktu fermentasi, suhu, dan kelembapan lingkungan terhadap kualitas tempe yang dihasilkan. Pendekatan ini dipilih karena mampu merepresentasikan fenomena secara alami tanpa manipulasi variabel, sehingga data yang diperoleh mencerminkan kondisi fermentasi sebagaimana berlangsung di lapangan pada praktik pengrajin tradisional. Dengan pendekatan ini, peneliti dapat memahami dinamika proses fermentasi secara kontekstual dan komprehensif [9], [10]

Penelitian dilaksanakan di Desa Padaringan, Kecamatan Purwadadi, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat, yang merupakan wilayah dengan aktivitas produksi tempe skala rumah tangga dan masih menerapkan metode fermentasi tradisional berbasis kondisi lingkungan alami. Lokasi ini dipilih karena karakteristik produksinya relevan dengan tujuan penelitian, yaitu mengkaji optimasi fermentasi dalam kondisi nyata tanpa alat pengendali suhu dan kelembapan. Pengamatan dilakukan selama empat hari berturut-turut dengan interval pengamatan setiap tiga jam pada rentang waktu fermentasi 0–24 jam setiap hari, sehingga dinamika perubahan kondisi fermentasi dapat diamati secara sistematis.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kedelai sebagai substrat fermentasi, ragi tempe (*Rhizopus* sp.) sebagai starter fermentasi, serta air bersih yang digunakan selama proses perendaman dan pencucian kedelai. Proses fermentasi dilakukan menggunakan metode tradisional yang diterapkan oleh pengrajin setempat dengan pembungkus plastik berlubang pada tempe berbentuk panjang. Alat yang digunakan meliputi thermo-hygrometer untuk mengukur suhu dan kelembapan relatif lingkungan fermentasi, jam pengamatan, alat tulis, dan perangkat dokumentasi untuk mencatat perubahan fisik selama fermentasi berlangsung.

Objek penelitian adalah proses fermentasi tempe bentuk panjang, yang mencakup perubahan fisik dan sensori selama fermentasi berlangsung. Subjek penelitian adalah pengrajin tempe skala rumah tangga di Desa Padaringan yang berperan sebagai mitra penelitian. Pengrajin menjalankan proses produksi seperti biasa, sedangkan peneliti melakukan observasi, pencatatan, dan pengukuran parameter lingkungan fermentasi.



Pendekatan ini memungkinkan data yang diperoleh bersifat autentik karena proses berlangsung tanpa intervensi perlakuan eksperimental.

Penelitian ini tidak menggunakan variabel dalam pengertian eksperimen kuantitatif, melainkan fokus pengamatan yang terdiri atas waktu fermentasi, suhu lingkungan, kelembapan relatif, dan kualitas tempe. Waktu fermentasi diamati pada interval 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, dan 24 jam selama empat hari. Suhu lingkungan diukur dalam satuan derajat Celsius pada setiap interval pengamatan, sedangkan kelembapan relatif diukur dalam persentase pada waktu yang sama. Kualitas tempe dinilai secara kualitatif berdasarkan indikator pertumbuhan miselium, tekstur, dan aroma sebagai parameter mutu produk

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung, pengukuran lingkungan, dan dokumentasi. Observasi langsung digunakan untuk memantau perubahan fisik tempe selama fermentasi serta mencatat kondisi lingkungan pada setiap interval waktu. Pengukuran suhu dan kelembapan dilakukan menggunakan alat thermo-hygrometer yang ditempatkan pada lokasi fermentasi untuk memastikan data lingkungan tercatat secara akurat. Dokumentasi dilakukan melalui pencatatan sistematis hasil pengamatan dan, bila diperlukan, pengambilan dokumentasi visual untuk mendukung deskripsi kualitatif kondisi tempe pada setiap tahap fermentasi. Pendekatan kombinatorik ini memastikan data yang diperoleh bersifat valid, kontekstual, dan dapat digunakan sebagai dasar analisis optimasi fermentasi tempe berbasis kondisi lapangan.

### III. PEMBAHASAN DAN HASIL

#### 3.1. Gambaran Umum Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan untuk menganalisis optimasi waktu dan suhu fermentasi dalam meningkatkan kualitas tempe pada produksi tempe skala rumah tangga di Desa Padaringan, Kecamatan Purwadadi, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat. Proses fermentasi diamati selama empat hari berturut-turut, dengan interval pengamatan setiap tiga jam (0–24 jam) pada setiap hari fermentasi. Data yang dikumpulkan meliputi suhu lingkungan fermentasi, kelembapan relatif (RH), serta perubahan kualitas tempe secara fisik dan sensori, yang meliputi pertumbuhan miselium, tekstur, dan aroma tempe. Seluruh pengamatan dilakukan pada kondisi produksi nyata tanpa perlakuan eksperimental, sehingga mencerminkan praktik fermentasi tradisional yang dilakukan oleh pengrajin.

#### 3.2. Pola Umum Dinamika Fermentasi

Hasil observasi menunjukkan bahwa fermentasi tempe berlangsung melalui tahapan biologis yang terstruktur dan konsisten selama empat hari pengamatan. Setiap fase memperlihatkan karakteristik perubahan suhu, kelembapan, pertumbuhan miselium, tekstur, serta profil aroma yang berbeda. Pola ini menegaskan bahwa fermentasi tempe merupakan sistem biologis dinamis yang dipengaruhi interaksi antara aktivitas metabolik kapang dan kondisi lingkungan. Stabilitas lingkungan terbukti menjadi faktor dominan dalam menentukan keberhasilan pembentukan struktur tempe dan kualitas akhir produk.

##### 3.2.1 Hari Pertama (0–24 Jam): Fase Adaptasi dan Inisiasi Kolonisasi

Pada hari pertama, fermentasi berada pada tahap adaptasi mikroorganisme dan awal pertumbuhan miselium. Suhu lingkungan berkisar 27–32°C dengan kelembapan relatif 72–91%. Kondisi ini masih tergolong mendukung pertumbuhan kapang, tetapi belum menghasilkan struktur tempe yang kompak. Secara visual, miselium mulai muncul tipis dan sporadis pada jam ke-9 hingga ke-12. Tekstur kedelai masih lunak dan belum menyatu karena jaringan miselium belum terbentuk secara merata. Aroma yang tercium masih menyerupai kedelai matang dengan sedikit indikasi aroma fermentasi.

Fase ini merupakan tahap kritis karena menentukan keberhasilan kolonisasi awal kapang. Apabila suhu terlalu rendah atau kelembapan terlalu tinggi pada fase ini, pertumbuhan miselium dapat terhambat atau tidak merata, yang pada akhirnya memengaruhi kualitas tempe pada tahap berikutnya. Pada akhir hari pertama ( $\pm 18$ –24 jam), miselium mulai menyebar lebih luas dan tekstur mulai padat, menandakan transisi menuju fase pematangan.





Gambar 1. Fase Adaptasi dan Inisiasi Kolonisasi

### 3.2.2 Hari Kedua (24–48 Jam): Fase Optimal Fermentasi

Hari kedua merupakan fase paling stabil dan produktif dalam proses fermentasi. Suhu berada pada kisaran 27–29°C dengan kelembapan 80–88%, yaitu kondisi ideal bagi aktivitas metabolik kapang. Pada tahap ini, miselium putih menutupi hampir seluruh permukaan kedelai secara merata dan membentuk jaringan padat yang mengikat biji menjadi satu kesatuan struktur.

Tekstur tempe menjadi kompak, kokoh, dan elastis indikator utama kualitas tempe yang baik. Aroma khas tempe matang mulai berkembang jelas namun tetap lembut dan tidak menyengat. Secara fisiologis, fase ini menunjukkan bahwa aktivitas enzimatis kapang berada pada titik maksimum, menghasilkan pemecahan protein dan karbohidrat kompleks menjadi senyawa sederhana yang meningkatkan nilai gizi dan pencernaan tempe.

Rentang waktu 33–42 jam diidentifikasi sebagai periode kualitas optimal karena seluruh indikator mutu visual, tekstur, dan aroma berada pada kondisi terbaik. Oleh sebab itu, fase ini direkomendasikan sebagai waktu ideal konsumsi maupun distribusi produk tempe segar.



Gambar 2. Fase Optimal Fermentasi

### 3.2.3. Hari Ketiga (48–72 Jam): Transisi Menuju Over-Fermentasi



DOI: 10.52362/jisamar.v10i2.2430

Ciptaan disebarluaskan di bawah [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Memasuki hari ketiga, sistem fermentasi mulai menunjukkan tanda pergeseran metabolik. Suhu meningkat hingga sekitar 29–30°C dengan kelembapan tetap tinggi (82–88%). Miselium masih menutupi permukaan tempe, tetapi mulai muncul noda kekuningan atau kecokelatan akibat aktivitas degradasi lanjutan.

Tekstur tempe berubah menjadi lebih lunak dan elastisitasnya menurun. Aroma menjadi lebih tajam karena terbentuknya senyawa volatil hasil pemecahan protein, seperti amonia dan asam organik. Pada tahap ini, aktivitas kapang tidak lagi berfokus pada pertumbuhan miselium, melainkan pada degradasi substrat kedelai. Fase ini menandai batas akhir mutu optimal konsumsi karena kualitas sensori mulai menurun meskipun produk belum rusak.



Gambar 3. Fase Transisi Menuju Over-Fermentasi

#### 3.2.4. Hari Keempat (72–96 Jam): Fase Degradasi Lanjut

Hari keempat menunjukkan fase penurunan mutu yang jelas. Suhu meningkat hingga 30–32°C sementara kelembapan menurun menjadi 69–79%. Kombinasi kondisi ini mempercepat kerusakan matriks tempe. Miselium menjadi rapuh, warna berubah kusam, dan permukaan tampak berkerut serta basah. Struktur internal tempe melemah sehingga tekstur menjadi lembek dan mudah hancur.

Aroma berubah menjadi sangat tajam dan kurang nyaman akibat dominasi senyawa volatil hasil deaminasi protein. Secara biologis, fase ini menunjukkan bahwa aktivitas fermentasi fungsional telah berakhir dan digantikan oleh proses degradasi lanjut. Tempe pada tahap ini tidak lagi layak konsumsi dan hanya relevan sebagai indikator batas akhir fermentasi.



Gambar 4. Fase Degradasi Lanjut



### 3.2.5. Analisis Komparatif Antarhari

Perbandingan lintas hari memperlihatkan kurva perkembangan mutu berbentuk lonceng (bell-curve pattern). Hari pertama merupakan fase pertumbuhan awal, hari kedua fase puncak mutu, hari ketiga fase penurunan awal, dan hari keempat fase degradasi lanjut. Pola ini menegaskan bahwa kualitas tempe tidak meningkat secara linear terhadap waktu fermentasi, melainkan memiliki titik optimum yang jelas.

Stabilitas suhu pada kisaran  $\pm 28-29^{\circ}\text{C}$  serta kelembapan  $\pm 80-88\%$  terbukti menjadi kombinasi paling ideal untuk menghasilkan tempe berkualitas. Ketika suhu meningkat atau kelembapan menurun secara signifikan setelah hari kedua, laju degradasi substrat meningkat sehingga kualitas produk menurun.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa parameter lingkungan dan waktu fermentasi memiliki hubungan interaktif yang menentukan kualitas tempe. Faktor penentu utama bukan hanya nilai suhu atau kelembapan tertentu, tetapi kestabilan keduanya selama proses berlangsung. Rentang fermentasi optimal berada pada 24–48 jam dengan kondisi suhu stabil dan kelembapan tinggi. Setelah periode tersebut, perpanjangan waktu fermentasi tidak meningkatkan mutu, melainkan mempercepat degradasi kualitas fisik dan sensori.

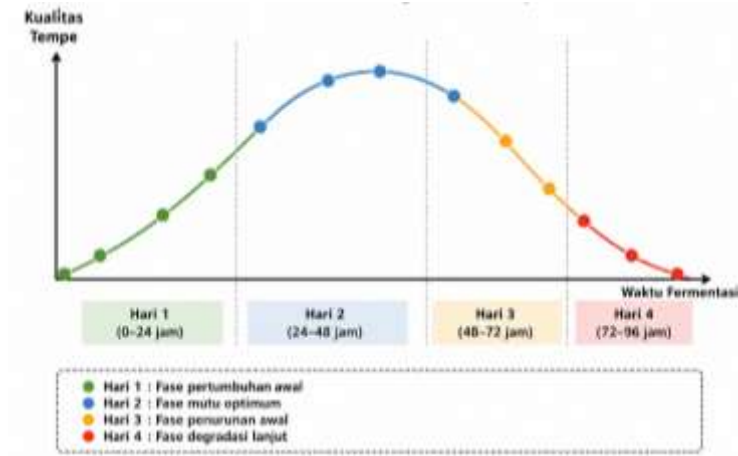
Temuan ini memberikan implikasi praktis bahwa pengrajin tempe skala rumah tangga dapat meningkatkan konsistensi mutu produk dengan mengendalikan lama fermentasi sesuai kondisi suhu lingkungan aktual. Pendekatan berbasis observasi lapangan ini menegaskan pentingnya optimasi waktu fermentasi sebagai strategi paling efektif dalam produksi tempe tradisional.

Tabel 1. Analisis Komparatif Perkembangan Fermentasi Tempe Antarhari

Hari Fermentasi	Fase Fermentasi	Kondisi Suhu dan Kelembapan	Karakteristik Fisik Tempe	Kondisi Sensori	Tingkat Kualitas
Hari Pertama (0–24 jam)	Fase pertumbuhan awal	Suhu $27-32^{\circ}\text{C}$ , kelembapan $72-91\%$	Miselium mulai tumbuh, tekstur masih lunak dan belum kompak	Aroma masih ringan dan belum khas	Kualitas awal
Hari Kedua (24–48 jam)	Fase optimum	Suhu stabil $27-29^{\circ}\text{C}$ , kelembapan $80-88\%$	Miselium putih merata, tekstur padat dan kompak	Aroma khas tempe muncul dan stabil	Kualitas optimum
Hari Ketiga (48–72 jam)	Fase penurunan awal	Suhu mulai meningkat, kelembapan mulai menurun	Warna mulai kekuningan, tekstur lebih lembek	Aroma semakin tajam	Kualitas mulai menurun
Hari Keempat (72–96 jam)	Fase degradasi lanjut	Suhu kurang stabil, kelembapan menurun	Miselium rusak, warna kecokelatan, tekstur sangat lunak	Aroma menyengat dan tidak normal	Tidak layak konsumsi

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pola perubahan mutu tempe selama proses fermentasi, hasil pengamatan divisualisasikan dalam bentuk kurva perkembangan kualitas antarhari. Visualisasi ini menunjukkan hubungan antara lama fermentasi dengan perubahan mutu tempe berdasarkan karakteristik fisik dan sensori yang diamati selama empat hari penelitian. Kurva perkembangan mutu tempe disajikan pada Gambar 5.

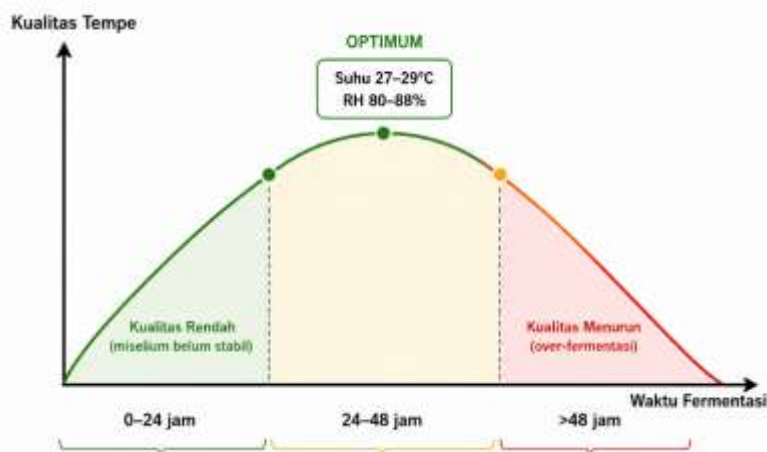




Gambar 5. Kurva Perkembangan Mutu Tempe Antarhari

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa kualitas tempe mengalami peningkatan secara bertahap sejak awal fermentasi hingga mencapai titik optimum pada hari kedua. Setelah melewati fase optimum, kualitas mulai mengalami penurunan akibat meningkatnya aktivitas degradasi metabolik. Pola ini membentuk kurva menyerupai lonceng (*bell-curve pattern*), yang menunjukkan bahwa kualitas tempe tidak meningkat secara linear terhadap waktu fermentasi. Fase optimum terjadi pada rentang 24–48 jam, ketika miselium tumbuh merata, tekstur menjadi padat, dan aroma khas tempe berkembang secara optimal. Setelah melewati periode tersebut, kualitas fisik dan sensori mulai menurun yang ditandai dengan perubahan warna, tekstur lebih lunak, serta aroma yang semakin tajam.

Selain dipengaruhi oleh lama fermentasi, kualitas tempe juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama proses fermentasi berlangsung. Suhu dan kelembapan relatif menjadi dua parameter utama yang menentukan stabilitas pertumbuhan miselium dan kualitas produk akhir. Hubungan antara suhu, kelembapan, dan kualitas tempe selama fermentasi disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Suhu dan Kelembapan terhadap Kualitas Tempe

Gambar 3.2.6 menunjukkan bahwa kualitas tempe optimal diperoleh pada kondisi suhu stabil sekitar 27–29°C dengan kelembapan relatif 80–88%. Pada kondisi tersebut, pertumbuhan miselium berlangsung merata sehingga menghasilkan tekstur tempe yang kompak dan aroma khas yang optimal. Sebaliknya, ketika suhu



meningkat dan kelembapan mulai menurun setelah hari kedua fermentasi, kualitas tempe mengalami penurunan secara bertahap. Ketidakstabilan lingkungan menyebabkan proses degradasi berlangsung lebih cepat sehingga tekstur menjadi lembek, warna berubah kekuningan hingga kecokelatan, dan aroma menjadi lebih menyengat. Oleh karena itu, kestabilan suhu dan kelembapan selama fermentasi merupakan faktor penting dalam menjaga konsistensi mutu tempe pada produksi skala rumah tangga.

### 3.3. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dinamika fermentasi tempe mengikuti pola biologis khas fermentasi kapang yang dipengaruhi secara langsung oleh interaksi waktu inkubasi, suhu, dan kelembapan lingkungan. Secara mikrobiologis, fermentasi tempe merupakan proses biokonversi substrat kedelai oleh kapang genus *Rhizopus* yang menghasilkan enzim protease, lipase, dan amilase untuk menguraikan senyawa kompleks menjadi molekul sederhana. Aktivitas enzimatik ini menjelaskan mengapa perubahan mutu tempe berlangsung bertahap dari fase adaptasi, pertumbuhan, pematangan, hingga degradasi. Temuan ini konsisten dengan teori kinetika pertumbuhan mikroba yang menyatakan bahwa mikroorganisme mengalami fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian selama proses fermentasi pangan.

Pada hari pertama fermentasi, fase adaptasi mikroorganisme mendominasi proses. Pertumbuhan miselium belum terlihat jelas karena kapang masih melakukan penyesuaian fisiologis terhadap substrat dan kondisi lingkungan. Literatur mikrobiologi fermentasi menjelaskan bahwa fase lag ditandai oleh aktivitas metabolik internal tanpa peningkatan biomassa signifikan, karena sel mikroba mensintesis enzim yang diperlukan untuk metabolisme substrat baru. Stabilitas suhu 27–29°C dan kelembapan tinggi pada tahap ini berperan penting dalam mempersingkat fase adaptasi dan mempercepat transisi menuju fase pertumbuhan. Kondisi ini sejalan dengan temuan penelitian fermentasi kedelai yang menunjukkan bahwa suhu moderat dan kelembapan tinggi mempercepat kolonisasi kapang serta meningkatkan efisiensi pembentukan miselium.

Memasuki hari kedua, fermentasi mencapai fase eksponensial yang ditandai oleh pertumbuhan miselium maksimal dan pembentukan struktur tempe yang kompak. Pada tahap ini, suhu stabil sekitar 27–29°C dan kelembapan 80–88% menciptakan lingkungan optimal bagi aktivitas metabolik kapang. Dalam perspektif fisiologi mikroba, kondisi tersebut mendukung laju respirasi dan sintesis enzim pada tingkat optimum. Studi internasional tentang fermentasi pangan tradisional melaporkan bahwa rentang suhu sekitar 28–32°C merupakan kondisi ideal bagi pertumbuhan kapang fermentatif karena mendukung stabilitas membran sel dan efisiensi aktivitas enzim. Keceragaman miselium yang diamati pada fase ini menunjukkan bahwa pertumbuhan hifa berlangsung simultan dan homogen, menghasilkan matriks protein-polisakarida yang berfungsi sebagai perekat alami antarhiji kedelai. Matriks ini menjelaskan peningkatan tekstur kompak dan elastis yang menjadi indikator mutu tempe berkualitas tinggi.

Perubahan yang terjadi pada hari ketiga menandai transisi dari fase pertumbuhan menuju fase stasioner dan awal degradasi. Secara mikrobiologis, fase ini terjadi ketika nutrisi substrat mulai berkurang dan produk metabolit sekunder mulai terakumulasi. Akumulasi senyawa volatil seperti amonia dan asam organik yang terdeteksi melalui perubahan aroma merupakan indikator klasik aktivitas proteolitik lanjutan. Literatur fermentasi menyebutkan bahwa ketika substrat protein mulai habis, mikroorganisme akan mengalihkan metabolisme ke jalur katabolik lanjutan yang menghasilkan senyawa nitrogen volatil. Hal ini menjelaskan mengapa aroma tempe pada fase ini menjadi lebih tajam dan tekstur mulai melunak akibat degradasi struktur protein kedelai. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun pertumbuhan miselium masih terlihat, kualitas sensori produk mulai menurun.

Pada hari keempat, sistem fermentasi memasuki fase degradasi lanjut yang ditandai oleh penurunan kualitas fisik dan sensori secara signifikan. Peningkatan suhu hingga 30–32°C dan penurunan kelembapan relatif mempercepat stres fisiologis pada kapang. Dalam teori mikrobiologi lingkungan, suhu tinggi dapat meningkatkan laju metabolisme hingga melewati titik optimum, yang justru mempercepat kematian sel dan kerusakan struktur miselium. Selain itu, kelembapan rendah menyebabkan penurunan aktivitas air substrat, sehingga jaringan miselium kehilangan stabilitas struktural. Kombinasi kedua faktor tersebut menjelaskan munculnya tekstur lembek, warna kusam, serta aroma menyengat yang menandai fase pasca-optimal. Fenomena ini sejalan dengan laporan penelitian fermentasi pangan Asia yang menyatakan bahwa fermentasi berlebih menyebabkan degradasi matriks protein dan lipid serta menurunkan kelayakan konsumsi.

Analisis komparatif antarhari memperlihatkan bahwa kualitas tempe mengikuti kurva optimum biologis, bukan peningkatan linear. Hal ini sesuai dengan prinsip kinetika fermentasi yang menyatakan bahwa setiap sistem fermentasi memiliki titik optimum waktu tertentu di mana kualitas produk mencapai maksimum sebelum menurun



akibat degradasi metabolik. Dalam konteks penelitian ini, titik optimum tersebut terjadi pada rentang 24–48 jam fermentasi. Rentang ini mencerminkan keseimbangan antara pertumbuhan miselium, aktivitas enzimatik, dan stabilitas struktur substrat. Setelah melewati periode tersebut, aktivitas degradasi lebih dominan dibandingkan aktivitas sintesis, sehingga mutu produk menurun.

Temuan penelitian juga menegaskan pentingnya kestabilan parameter lingkungan sebagai faktor kunci keberhasilan fermentasi. Literatur internasional tentang fermentasi tradisional menekankan bahwa fluktuasi suhu dan kelembapan dapat mengganggu regulasi metabolisme mikroba, menyebabkan pertumbuhan tidak merata, serta meningkatkan risiko kontaminasi. Oleh karena itu, meskipun produksi tempe skala rumah tangga tidak menggunakan inkubator terkontrol, pengaturan ventilasi, ketebalan kemasan, dan waktu fermentasi dapat berfungsi sebagai strategi adaptif untuk menjaga stabilitas iklim mikro fermentasi.

Secara teoretis, hasil penelitian ini memperkuat konsep bahwa fermentasi tempe merupakan sistem bioteknologi alami yang dikendalikan oleh interaksi kompleks antara mikroorganisme, substrat, dan lingkungan. Dari perspektif aplikasi, temuan ini memberikan dasar ilmiah bahwa optimasi waktu fermentasi merupakan strategi paling efektif dan realistis bagi produsen skala kecil untuk menjaga kualitas produk tanpa memerlukan teknologi mahal. Pengendalian waktu panen fermentasi sesuai kondisi suhu lingkungan lokal dapat memaksimalkan mutu sensori sekaligus memperpanjang daya simpan produk.

Dengan demikian, pembahasan ini menegaskan bahwa kualitas tempe optimal dicapai ketika pertumbuhan mikroba, aktivitas enzimatik, dan stabilitas lingkungan berada pada titik keseimbangan. Ketika salah satu faktor melewati batas optimum, sistem fermentasi akan bergeser menuju fase degradasi. Prinsip ini sejalan dengan teori umum mikrobiologi fermentasi dan didukung oleh berbagai penelitian internasional mengenai fermentasi pangan berbasis kapang.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa proses fermentasi tempe merupakan sistem biologis dinamis yang dipengaruhi secara kuat oleh interaksi waktu fermentasi, suhu, dan kelembapan lingkungan. Hasil pengamatan selama empat hari menegaskan bahwa kualitas tempe tidak meningkat secara linear terhadap lamanya fermentasi, melainkan mengikuti pola kurva optimum. Fase awal fermentasi (0–24 jam) ditandai dengan tahap adaptasi dan pertumbuhan awal miselium yang masih terbatas, sehingga struktur tempe belum terbentuk secara sempurna. Kondisi lingkungan pada tahap ini berperan penting sebagai fondasi keberhasilan fermentasi selanjutnya. Fase terbaik diperoleh pada hari kedua hingga awal hari ketiga (24–48 jam), ketika suhu berada pada kisaran  $\pm 27-29^{\circ}\text{C}$  dan kelembapan relatif sekitar 80–88%. Pada rentang ini, miselium tumbuh merata, tekstur tempe menjadi padat dan kompak, serta aroma khas tempe matang terbentuk secara optimal. Periode tersebut merupakan titik keseimbangan antara pertumbuhan mikroba, aktivitas enzimatik, dan stabilitas substrat, sehingga dapat dikategorikan sebagai waktu fermentasi optimal untuk menghasilkan tempe berkualitas tinggi.

Setelah melewati 48 jam fermentasi, kualitas tempe mulai menurun secara bertahap. Hari ketiga menunjukkan fase transisi menuju over-fermentasi yang ditandai dengan perubahan aroma menjadi lebih tajam, tekstur mulai melunak, serta munculnya indikasi degradasi senyawa protein. Pada hari keempat (72–96 jam), penurunan mutu terjadi secara signifikan akibat dominasi proses degradasi metabolik, peningkatan suhu, serta penurunan kelembapan lingkungan. Kondisi tersebut menyebabkan struktur tempe melemah, warna kusam, tekstur lembek, dan aroma menyengat, sehingga produk tidak lagi layak konsumsi.

Secara ilmiah, temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan fermentasi tempe tidak hanya ditentukan oleh nilai suhu atau kelembapan tertentu, melainkan oleh kestabilan kondisi lingkungan selama proses berlangsung serta ketepatan waktu penghentian fermentasi. Oleh karena itu, strategi paling efektif untuk meningkatkan kualitas tempe pada produksi skala rumah tangga adalah mengoptimalkan waktu fermentasi sesuai kondisi suhu lingkungan aktual. Pendekatan ini terbukti praktis, aplikatif, dan tidak memerlukan teknologi tambahan, sehingga dapat menjadi dasar penyusunan standar operasional fermentasi bagi pengrajin tempe tradisional guna menghasilkan produk yang konsisten, aman, dan berdaya saing.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Indraprasta PGRI Jakarta atas dukungan pendanaan penelitian ini melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LRPM). Penelitian ini terlaksana berkat bantuan dana Program Penelitian sesuai dengan Kontrak



Nomor: 02221/SP3/KP/LRPM/UNINDRA/XI/2025 tanggal 5 November 2025. Dukungan tersebut sangat berperan dalam kelancaran pelaksanaan penelitian, pengumpulan data lapangan, hingga penyusunan laporan ilmiah. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi, khususnya mitra pengrajin tempe di Desa Padaringan yang telah memberikan akses, informasi, dan kerja sama selama proses penelitian berlangsung.

## REFERENASI

- [1] M. J. R. Nout and J. L. Kiers, "Tempe fermentation, innovation and functionality: update into the third millenium," *J. Appl. Microbiol.*, vol. 98, no. 4, pp. 789–805, 2005.
- [2] M. Astuti, A. Meliala, F. S. Dalais, and M. L. Wahlqvist, "Tempe, a nutritious and healthy food from Indonesia," *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, vol. 9, no. 4, pp. 322–325, 2000.
- [3] H. S. Keith and I. Steinkraus, "Handbook of indigenous fermented food," *Marcel, New York, USA*, 1996.
- [4] K. A. Hachmeister and D. Y. C. Fung, "Tempeh: a mold-modified indigenous fermented food made from soybeans and/or cereal grains," *Crit. Rev. Microbiol.*, vol. 19, no. 3, pp. 137–188, 1993.
- [5] M. J. R. Nout, "Rich nutrition from the poorest—Cereal fermentations in Africa and Asia," *Food Microbiol.*, vol. 26, no. 7, pp. 685–692, 2009.
- [6] H. Elhalis, X. Y. See, R. Osen, X. H. Chin, and Y. Chow, "The potentials and challenges of using fermentation to improve the sensory quality of plant-based meat analogs," *Front. Microbiol.*, vol. 14, p. 1267227, 2023.
- [7] W. Shurtleff and A. Aoyagi, "Tempeh and tempeh products," (*No Title*).
- [8] J. W. Creswell, *A concise introduction to mixed methods research*. SAGE publications, 2014.
- [9] S. Sugiyono, "Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, R&D," *Bandung: Alfabeta*, vol. 1, no. 11, 2016.
- [10] L. J. Moleong, "Moleong," *Metode Penelitian Kualitatif*, 2019.



DOI: 10.52362/jisamar.v10i2.2430

Ciptaan disebarluaskan di bawah [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).