



---

## Analisis Kinetika Dan Aktivitas Enzimatis Dalam Fermentasi Tempe Berbasis *Rhizopus Oligosporus*

Elva Suktavia<sup>1</sup>, Fitri Eka Nursanti<sup>2</sup>, Nandiah Septianasari<sup>3</sup>, Siti Olimfia<sup>4</sup>, Siulis Nur Indahsari<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung  
[Soktaviaelva@gmail.com](mailto:Soktaviaelva@gmail.com)<sup>1</sup>, [ekanursantif@gmail.com](mailto:ekanursantif@gmail.com)<sup>2</sup>, [nandiaseptiana3@gmail.com](mailto:nandiaseptiana3@gmail.com)<sup>3</sup>, [sitiolimfia@gmail.com](mailto:sitiolimfia@gmail.com)<sup>4</sup>,  
[Indahsarisulisnur@gmail.com](mailto:Indahsarisulisnur@gmail.com)<sup>5</sup>

### Abstrak

Fermentasi tempe merupakan proses bioteknologi tradisional berbasis kapang *Rhizopus oligosporus* yang melibatkan transformasi biokimia kompleks melalui aktivitas enzimatis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinetika fermentasi dan aktivitas enzim selama proses pembentukan tempe secara kualitatif deskriptif melalui studi literatur. Hasil kajian menunjukkan bahwa proses fermentasi tempe melibatkan enzim utama seperti protease, lipase, amilase, dan fitase yang berperan dalam degradasi makromolekul menjadi senyawa sederhana. Kinetika fermentasi dipengaruhi oleh faktor waktu, suhu, pH, dan ketersediaan substrat. Aktivitas enzim meningkat signifikan pada fase eksponensial pertumbuhan kapang, kemudian menurun pada fase stasioner. Fermentasi juga meningkatkan nilai gizi, bioavailabilitas protein, serta menghasilkan senyawa bioaktif. Dengan demikian, kinetika dan aktivitas enzimatis memiliki peran penting dalam menentukan kualitas dan karakteristik tempe (Stodolak et al., 2020).

Kata Kunci : Fermentasi Tempe, *Rhizopus Oligosporus*, Kinetika Enzim, Aktivitas Enzim, Bioteknologi Pangan

### 1. Pendahuluan

Tempe merupakan salah satu produk pangan fermentasi tradisional berbasis kedelai yang berasal dari Indonesia dan telah dikenal secara luas, baik di tingkat nasional maupun internasional, sebagai salah satu pangan fungsional dengan kandungan gizi yang tinggi. Keberadaan tempe tidak hanya mencerminkan kekayaan budaya kuliner Indonesia, tetapi juga menunjukkan pemanfaatan teknologi fermentasi tradisional yang telah berkembang secara turun-temurun. Dalam beberapa dekade terakhir, tempe semakin mendapatkan perhatian dalam kajian ilmiah, khususnya dalam bidang ilmu pangan dan gizi, karena potensinya sebagai sumber protein nabati yang berkualitas serta manfaat kesehatannya yang beragam. Keunggulan tempe tidak hanya terletak pada kandungan protein nabatinya yang melimpah, tetapi juga pada peningkatan kualitas nutrisi yang terjadi selama proses fermentasi.

Kedelai sebagai bahan baku utama tempe mengandung protein dengan profil asam amino yang cukup lengkap, namun dalam bentuk mentahnya, ketersediaan hayati nutrisi tersebut masih terbatas. Hal ini disebabkan oleh adanya struktur kompleks pada makromolekul serta keberadaan senyawa antinutrisi yang dapat menghambat proses pencernaan dan penyerapan nutrisi. Oleh karena itu, proses fermentasi menjadi sangat penting dalam meningkatkan nilai gizi kedelai sehingga lebih optimal untuk dikonsumsi.

Proses fermentasi tempe melibatkan kapang *Rhizopus oligosporus* yang berperan sebagai agen utama dalam menguraikan senyawa kompleks dalam kedelai melalui aktivitas enzimatis. Kapang ini memiliki kemampuan untuk tumbuh dengan cepat dan efisien pada substrat kedelai, serta menghasilkan berbagai enzim ekstraseluler yang berperan dalam proses degradasi makromolekul. Selama fermentasi berlangsung, *Rhizopus oligosporus* membentuk jaringan miselium yang menyelimuti biji kedelai dan mengikatnya menjadi struktur padat khas tempe.

Proses ini tidak hanya memberikan karakteristik fisik pada tempe, tetapi juga mencerminkan aktivitas metabolik mikroorganisme yang sangat aktif. Selama fermentasi, terjadi berbagai perubahan biokimia yang signifikan. Protein dalam kedelai dihidrolisis oleh enzim protease menjadi peptida dan asam amino bebas yang lebih mudah dicerna oleh tubuh manusia. Lemak dipecah oleh enzim lipase menjadi asam lemak dan gliserol, yang berkontribusi terhadap peningkatan cita rasa dan aroma produk.

Sementara itu, karbohidrat kompleks diuraikan oleh enzim amilase dan enzim terkait menjadi gula sederhana yang lebih mudah dimetabolisme. Transformasi biokimia ini menjadikan tempe sebagai pangan yang memiliki tingkat pencernaan yang lebih tinggi dibandingkan kedelai mentah, serta meningkatkan nilai ketersediaan hayati zat gizi yang terkandung di dalamnya. Selain meningkatkan kualitas nutrisi, fermentasi juga berperan penting dalam menurunkan kandungan senyawa antinutrisi dalam kedelai.

Senyawa seperti asam fitat, inhibitor tripsin, dan oligosakarida tertentu diketahui dapat mengganggu proses pencernaan serta menghambat penyerapan mineral penting seperti zat besi, kalsium, dan seng. Melalui aktivitas enzimatik selama fermentasi, senyawa-senyawa tersebut dapat diuraikan atau dikurangi secara signifikan, sehingga meningkatkan nilai gizi tempe secara keseluruhan. Di samping itu, fermentasi juga berkontribusi dalam meningkatkan kandungan senyawa bioaktif, seperti antioksidan dan isoflavon dalam bentuk yang lebih aktif secara biologis.

Senyawa-senyawa ini memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan, termasuk dalam mencegah kerusakan sel akibat radikal bebas serta menurunkan risiko penyakit degeneratif (Sutardi, n.d.). Dalam konteks ilmiah, pemahaman mengenai kinetika fermentasi menjadi aspek yang sangat krusial dalam mengkaji dinamika proses fermentasi tempe. Kinetika fermentasi mencakup analisis terhadap laju pertumbuhan mikroorganisme, perubahan konsentrasi substrat, serta pembentukan produk selama proses berlangsung.

Dengan memahami kinetika fermentasi, peneliti dapat memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai fase-fase pertumbuhan kapang, mulai dari fase adaptasi (lag phase), fase pertumbuhan eksponensial, fase stasioner, hingga fase kematian. Setiap fase ini memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal aktivitas metabolik dan produksi enzim, sehingga mempengaruhi hasil akhir fermentasi. Lebih lanjut, kinetika fermentasi juga memberikan informasi mengenai efisiensi konversi nutrisi dalam sistem fermentasi.

Parameter kinetika, seperti laju pertumbuhan spesifik dan waktu generasi, dapat digunakan untuk mengevaluasi seberapa efektif mikroorganisme dalam memanfaatkan substrat yang tersedia. Informasi ini sangat penting dalam upaya optimasi proses fermentasi, baik dalam skala laboratorium maupun industri. Dengan mengontrol parameter-parameter seperti suhu, pH, kadar air, dan aerasi, proses fermentasi dapat dioptimalkan untuk menghasilkan tempe dengan kualitas yang konsisten dan nilai gizi yang maksimal.

Di sisi lain, aktivitas enzimatik merupakan indikator utama yang menentukan keberhasilan proses fermentasi. Enzim-enzim yang dihasilkan oleh *Rhizopus oligosporus* berperan sebagai katalis biologis yang mempercepat reaksi-reaksi kimia dalam substrat. Enzim protease, lipase, dan amilase merupakan enzim utama yang terlibat dalam proses fermentasi tempe. Protease berfungsi dalam menguraikan protein menjadi asam amino, lipase memecah lemak menjadi asam lemak dan gliserol, sedangkan amilase menghidrolisis karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana.

Aktivitas enzim-enzim ini berlangsung secara sinergis, sehingga menghasilkan perubahan komposisi kimia yang signifikan dalam substrat kedelai. Interaksi antara kinetika pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzimatik menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas akhir tempe. Pertumbuhan mikroorganisme yang optimal akan menghasilkan produksi enzim yang maksimal, sehingga mempercepat proses fermentasi dan meningkatkan efisiensi konversi nutrisi.

Sebaliknya, kondisi lingkungan yang tidak optimal dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan menurunkan aktivitas enzimatik, yang pada akhirnya berdampak negatif terhadap kualitas produk. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai hubungan antara kinetika fermentasi dan aktivitas enzimatik sangat diperlukan dalam pengembangan teknologi fermentasi yang lebih efektif. Selain faktor biologis, keberhasilan fermentasi tempe juga dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti kualitas bahan baku, kondisi lingkungan, serta teknik pengolahan yang digunakan.

Variasi dalam faktor-faktor ini dapat menyebabkan perbedaan dalam kualitas tempe yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang komprehensif untuk mengidentifikasi dan mengendalikan faktor-faktor tersebut, sehingga dapat menghasilkan produk yang konsisten dan berkualitas tinggi. Pendekatan kualitatif deskriptif berbasis studi literatur merupakan metode yang tepat untuk mengkaji secara mendalam aspek kinetika fermentasi dan aktivitas enzimatik dalam fermentasi tempe.

Melalui analisis terhadap berbagai sumber literatur ilmiah, dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme fermentasi serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Pendekatan ini juga memungkinkan untuk mengintegrasikan berbagai hasil penelitian sebelumnya, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih luas dan mendalam mengenai topik yang dikaji. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam aspek kinetika fermentasi dan aktivitas enzimatik dalam fermentasi tempe berbasis *Rhizopus oligosporus*.

Dengan menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif berbasis studi literatur, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi pangan, khususnya yang berkaitan dengan fermentasi. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan inovasi dalam produksi tempe yang lebih efisien, berkualitas, dan berkelanjutan (Stodolak et al., 2020). Lebih jauh lagi, kajian ini diharapkan mampu memperkuat posisi tempe sebagai salah satu pangan lokal unggulan yang memiliki daya saing global. Dalam konteks ketahanan pangan dan kebutuhan akan sumber protein alternatif yang berkelanjutan, tempe memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai proses fermentasi, khususnya dari aspek kinetika dan aktivitas enzimatik, menjadi sangat penting dalam mendukung pengembangan tersebut.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi literatur untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai kinetika fermentasi dan aktivitas enzimatik dalam proses pembuatan tempe. Data yang digunakan bersumber dari berbagai referensi ilmiah yang relevan, meliputi jurnal nasional dan internasional, buku teks akademik, serta publikasi ilmiah lainnya yang membahas fermentasi tempe dan peran enzim dalam proses tersebut. Pemilihan sumber dilakukan secara selektif dengan mempertimbangkan kredibilitas, kebaruan, dan relevansi terhadap topik penelitian.

Prosedur penelitian meliputi beberapa tahapan, yaitu pengumpulan literatur yang berkaitan dengan fermentasi tempe dan aktivitas enzim, kemudian dilanjutkan dengan analisis isi (content analysis) terhadap data ilmiah yang telah diperoleh. Selanjutnya, dilakukan sintesis informasi untuk mengintegrasikan berbagai temuan menjadi suatu penjelasan yang sistematis mengenai kinetika fermentasi dan aktivitas enzimatik. Penelitian ini tidak melibatkan observasi lapangan maupun eksperimen secara langsung, melainkan berfokus pada pengolahan dan interpretasi data sekunder yang tersedia dalam literatur ilmiah (Kristiadi Okti Hajeng & Lunggani Arina Tri, 2022).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil

Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa proses fermentasi tempe yang melibatkan kapang *Rhizopus oligosporus* menghasilkan berbagai jenis enzim ekstraseluler yang berperan penting dalam transformasi biokimia substrat kedelai. Enzim-enzim utama yang dihasilkan meliputi protease, lipase, amilase, dan fitase. Protease berfungsi dalam menghidrolisis protein kompleks menjadi peptida dan asam amino bebas, sehingga meningkatkan ketersediaan protein yang lebih mudah diserap oleh tubuh. Lipase berperan dalam memecah lemak menjadi asam lemak dan gliserol, yang tidak hanya mempermudah pencernaan tetapi juga berkontribusi pada pembentukan cita rasa khas tempe. Amilase bekerja dalam menguraikan karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana, sedangkan fitase berfungsi dalam mendegradasi asam fitat, yaitu senyawa antinutrisi yang dapat menghambat penyerapan mineral penting seperti zat besi, kalsium, dan seng (Karmini, 2017).

Aktivitas enzimatik dalam fermentasi tempe mengalami dinamika yang erat kaitannya dengan fase pertumbuhan kapang. Pada fase lag (adaptasi), aktivitas enzim masih relatif rendah karena mikroorganisme sedang menyesuaikan diri dengan lingkungan baru. Memasuki fase eksponensial, terjadi peningkatan aktivitas enzim secara signifikan seiring dengan pertumbuhan kapang yang cepat dan kebutuhan metabolisme yang tinggi. Pada fase ini, produksi enzim mencapai puncaknya dan proses degradasi makromolekul berlangsung secara intensif. Selanjutnya, pada fase stasioner, aktivitas enzim mulai stabil atau sedikit menurun akibat keterbatasan nutrisi dan akumulasi produk metabolit. Pada fase penurunan (death phase), aktivitas enzim menurun secara drastis seiring dengan berkurangnya jumlah sel aktif dan meningkatnya kondisi lingkungan yang kurang mendukung (Sutopo Djoko, 1992).

Kinetika fermentasi tempe secara keseluruhan dapat dijelaskan melalui empat fase utama, yaitu fase lag, eksponensial, stasioner, dan penurunan. Setiap fase menunjukkan karakteristik perubahan yang berbeda baik dari segi pertumbuhan mikroorganisme maupun aktivitas metabolisme. Pada fase eksponensial, laju pertumbuhan kapang dan laju reaksi biokimia berada pada tingkat maksimum, yang ditandai dengan peningkatan suhu akibat aktivitas metabolik serta pembentukan miselium yang menyatukan kedelai menjadi struktur padat khas tempe.

Faktor-faktor seperti suhu optimal (sekitar 30–37°C), pH netral hingga sedikit asam, serta ketersediaan oksigen dan substrat sangat memengaruhi kecepatan dan efisiensi kinetika fermentasi ini (R. A. Sparringa, 1999).

Selain perubahan secara mikrobiologis dan enzimatis, fermentasi tempe juga menunjukkan peningkatan nilai gizi yang signifikan. Protein dalam kedelai mengalami peningkatan kualitas melalui proses hidrolisis menjadi bentuk yang lebih sederhana, seperti peptida dan asam amino bebas, yang lebih mudah dicerna dan diserap oleh tubuh. Kandungan protein terlarut meningkat, sehingga meningkatkan bioavailabilitas nutrisi. Selain itu, terjadi juga peningkatan vitamin tertentu, seperti vitamin B kompleks, yang dihasilkan selama aktivitas mikroba. Penurunan senyawa antinutrisi seperti asam fitat turut berkontribusi terhadap peningkatan daya serap mineral dalam tubuh (Hua Zhou a, 2017). Lebih lanjut, hasil kajian menunjukkan bahwa fermentasi tempe juga berperan dalam meningkatkan kandungan senyawa bioaktif yang memiliki manfaat kesehatan. Senyawa-senyawa seperti antioksidan, isoflavon dalam bentuk aglikon, serta peptida bioaktif terbentuk selama proses fermentasi. Senyawa-senyawa ini diketahui memiliki aktivitas antioksidan, antimikroba, dan potensi dalam menurunkan risiko berbagai penyakit degeneratif. Selain itu, fermentasi juga meningkatkan daya cerna pangan secara keseluruhan, karena struktur kompleks dalam kedelai telah dipecah menjadi komponen yang lebih sederhana. Dengan demikian, tempe tidak hanya menjadi sumber protein nabati yang unggul, tetapi juga berperan sebagai pangan fungsional yang mendukung kesehatan tubuh secara menyeluruh (Yetti Mulyati Iskandar & Sri Priatni, 2008).

## 3.2. Pembahasan

### 3.2.1 Kinetika Fermentasi Tempe

Kinetika fermentasi merupakan aspek penting yang menggambarkan dinamika pertumbuhan mikroorganisme serta perubahan komposisi substrat selama proses fermentasi berlangsung. Dalam fermentasi tempe, kinetika ini berlangsung secara bertahap dan sistematis melalui beberapa fase pertumbuhan kapang *Rhizopus oligosporus*. Pada fase lag (adaptasi), kapang mulai menyesuaikan diri dengan lingkungan substrat kedelai yang telah mengalami proses perendaman dan perebusan. Pada tahap ini, aktivitas metabolisme masih relatif rendah karena sel mikroorganisme berfokus pada sintesis enzim-enzim awal yang dibutuhkan untuk memulai proses degradasi substrat. Aktivitas enzim pada fase ini belum signifikan, namun menjadi fondasi penting bagi tahap selanjutnya (Agus Wahyudi, 2018).

Memasuki fase eksponensial, pertumbuhan kapang berlangsung sangat cepat yang ditandai dengan pembentukan miselium yang mulai menyelimuti permukaan kedelai. Pada fase ini terjadi peningkatan aktivitas enzimatis secara signifikan, terutama enzim protease dan amilase yang berperan dalam menguraikan protein dan karbohidrat kompleks. Laju metabolisme meningkat pesat sehingga terjadi perubahan komposisi kimia substrat secara intensif. Selanjutnya, pada fase stasioner, pertumbuhan mikroorganisme mulai melambat akibat keterbatasan nutrisi dan akumulasi produk metabolit. Aktivitas enzim mencapai titik maksimum pada fase ini sebelum akhirnya menurun secara bertahap. Pada fase penurunan, kondisi lingkungan menjadi kurang mendukung bagi pertumbuhan mikroorganisme, ditandai dengan berkurangnya ketersediaan substrat dan meningkatnya senyawa hasil metabolisme yang bersifat menghambat. Secara keseluruhan, kinetika fermentasi tempe dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu optimal berkisar antara 30–35°C, pH yang cenderung netral hingga sedikit asam, kadar air yang cukup, serta ketersediaan oksigen yang memadai karena kapang bersifat aerob (Chinmay V. Kurambhatti, 2018).

### 3.2.2 Aktivitas Enzimatis dalam Fermentasi Tempe

Aktivitas enzimatis merupakan inti dari proses fermentasi tempe karena enzim berperan sebagai katalisator dalam berbagai reaksi biokimia yang terjadi selama fermentasi. Kapang *Rhizopus oligosporus* menghasilkan berbagai enzim ekstraseluler yang memiliki fungsi spesifik dalam menguraikan komponen utama kedelai. Enzim protease berperan dalam menghidrolisis protein kompleks menjadi peptida dan asam amino bebas, sehingga meningkatkan nilai pencernaan dan bioavailabilitas protein. Proses ini juga berkontribusi terhadap pembentukan cita rasa khas tempe melalui pelepasan senyawa nitrogen sederhana (Sun et al., 2025).

Selain itu, enzim amilase berfungsi dalam menguraikan pati menjadi gula sederhana seperti glukosa yang kemudian digunakan sebagai sumber energi bagi pertumbuhan mikroorganisme. Enzim lipase bekerja dalam memecah lemak menjadi asam lemak dan gliserol yang tidak hanya meningkatkan pencernaan, tetapi juga memengaruhi karakteristik aroma dan rasa tempe. Enzim fitase memiliki peran penting dalam menguraikan asam

fitat, yaitu senyawa antinutrisi yang dapat mengikat mineral sehingga tidak dapat diserap tubuh. Dengan adanya aktivitas fitase, ketersediaan mineral seperti zat besi, kalsium, dan seng menjadi meningkat. Selain itu, enzim  $\beta$ -glukosidase berperan dalam mengonversi isoflavon menjadi bentuk aglikon yang lebih mudah diserap oleh tubuh dan memiliki aktivitas biologis yang lebih tinggi, seperti efek antioksidan dan potensi pencegahan penyakit degenerative (Hai-Yan Chen, 2017).

### 3.2.3 Hubungan Kinetika dan Aktivitas Enzim

Kinetika fermentasi dan aktivitas enzimatis memiliki hubungan yang sangat erat dan saling memengaruhi satu sama lain. Aktivitas enzim sangat bergantung pada fase pertumbuhan mikroorganisme, di mana pada fase eksponensial terjadi peningkatan produksi enzim secara signifikan karena tingginya kebutuhan metabolisme sel. Pada fase ini, enzim diproduksi dalam jumlah besar untuk mempercepat degradasi substrat menjadi senyawa yang lebih sederhana yang dapat digunakan sebagai sumber energi dan bahan pembentuk sel. Seiring berjalannya waktu, ketika memasuki fase stasioner, produksi enzim mulai menurun karena ketersediaan substrat yang semakin terbatas dan adanya akumulasi produk metabolit yang dapat menghambat aktivitas enzim (Yongzhu Zhang, 2022).

Dalam kajian bioteknologi, hubungan ini sering dimodelkan melalui pendekatan kinetika yang melibatkan interaksi antara biomassa mikroorganisme, substrat, dan produk hasil fermentasi. Penurunan konsentrasi substrat biasanya berbanding lurus dengan peningkatan aktivitas enzim pada awal fermentasi, namun akan berbalik arah ketika substrat mulai habis. Dengan demikian, perubahan konsentrasi substrat memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan aktivitas enzim pada fase tertentu. Pemahaman terhadap hubungan ini sangat penting untuk mengoptimalkan proses fermentasi agar diperoleh hasil yang maksimal baik dari segi kualitas maupun efisiensi produksi.

### 3.2.4 Dampak Bioteknologi terhadap Kualitas Tempe

Proses fermentasi tempe sebagai bentuk penerapan bioteknologi tradisional memberikan berbagai dampak positif terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Salah satu manfaat utama adalah peningkatan nilai gizi, terutama pada protein yang mengalami hidrolisis menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga lebih mudah dicerna oleh tubuh. Selain itu, fermentasi juga menghasilkan berbagai senyawa bioaktif seperti peptida bioaktif dan isoflavon aglikon yang memiliki aktivitas antioksidan, antimikroba, dan potensi dalam menjaga Kesehatan (Fawwaz et al., 2017).

Fermentasi juga berperan dalam mengurangi kandungan senyawa antinutrisi seperti asam fitat yang dapat menghambat penyerapan mineral penting dalam tubuh. Dengan berkurangnya senyawa tersebut, bioavailabilitas mineral menjadi meningkat. Selain itu, proses fermentasi mampu meningkatkan daya cerna pangan secara keseluruhan karena struktur kompleks dalam kedelai telah diuraikan menjadi bentuk yang lebih sederhana. Dari segi sensori, fermentasi juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan cita rasa, aroma, dan tekstur tempe, sehingga lebih disukai oleh konsumen. Aktivitas antioksidan yang meningkat selama fermentasi juga menjadikan tempe sebagai pangan fungsional yang memiliki manfaat kesehatan tambahan (Winson Wiradhamma Ng, 2026).

### 3.2.5 Implikasi dalam Pengembangan Bioteknologi

Pemahaman yang mendalam mengenai kinetika fermentasi dan aktivitas enzimatis memiliki implikasi yang sangat penting dalam pengembangan industri tempe modern. Dengan mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi laju fermentasi dan aktivitas enzim, proses produksi tempe dapat dikontrol secara lebih optimal untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten. Pengaturan kondisi fermentasi seperti suhu, kelembaban, aerasi, dan waktu fermentasi menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi produksi dan mutu produk akhir (Rosmi Mubarak & Fatwa, 2019).<sup>16</sup>

Selain itu, pendekatan bioteknologi modern membuka peluang untuk melakukan optimasi strain mikroorganisme, khususnya *Rhizopus oligosporus*, guna meningkatkan produksi enzim tertentu yang diinginkan. Teknik seleksi dan rekayasa mikroba dapat digunakan untuk menghasilkan strain unggul yang memiliki aktivitas enzim lebih tinggi, sehingga proses fermentasi menjadi lebih cepat dan efisien. Tidak hanya itu, integrasi teknologi dalam proses produksi, seperti penggunaan bioreaktor terkontrol, juga dapat meningkatkan skala produksi tempe dari skala rumah tangga menjadi industri besar tanpa mengurangi kualitas produk. Dengan demikian, kajian

## 4. Kesimpulan

Fermentasi tempe berbasis *Rhizopus oligosporus* merupakan proses bioteknologi yang melibatkan interaksi kompleks antara kinetika pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzimatis. Proses ini berlangsung melalui

beberapa fase pertumbuhan, yaitu fase lag, eksponensial, stasioner, dan penurunan, yang masing-masing memiliki karakteristik metabolik yang berbeda. Kinetika fermentasi menunjukkan bahwa laju pertumbuhan kapang dan perubahan substrat sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, pH, kadar air, serta ketersediaan oksigen, yang secara langsung menentukan efisiensi proses fermentasi. Aktivitas enzimatis dalam fermentasi tempe berperan sebagai faktor utama dalam transformasi biokimia kedelai menjadi produk yang lebih bernilai gizi. Enzim seperti protease, amilase, lipase, fitase, dan  $\beta$ -glukosidase bekerja secara sinergis dalam menguraikan makromolekul menjadi senyawa sederhana seperti asam amino, gula, asam lemak, dan bentuk bioaktif lainnya. Aktivitas enzim mencapai puncaknya pada fase eksponensial, sejalan dengan tingginya laju pertumbuhan mikroorganisme, kemudian menurun pada fase stasioner hingga penurunan akibat keterbatasan substrat dan perubahan kondisi lingkungan. Secara keseluruhan, hubungan antara kinetika fermentasi dan aktivitas enzimatis memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kualitas akhir tempe, baik dari segi nilai gizi, daya cerna, maupun sifat fungsionalnya. Proses fermentasi tidak hanya meningkatkan bioavailabilitas nutrisi, tetapi juga menghasilkan senyawa bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap kedua aspek tersebut menjadi dasar penting dalam pengembangan teknologi fermentasi tempe yang lebih optimal, efisien, dan berkelanjutan dalam bidang bioteknologi pangan..

## Reference

- Agus Wahyudi. (2018). Pengaruh Variasi Suhu Ruang Inkubasi Terhadap Waktu Pertumbuhan *Rhizopus Oligosporus* Pada Pembuatan Tempe Kedelai. 3(1), 37–44.
- Chinmay V. Kurumbhatti, D. K. K. D. R. M. E. T. V. S. (2018). Increasing Ethanol Yield Through Fiber Conversion In Corn Dry Grind Process. *Journal Elsevier*, 270, 742–745. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.120>
- Ellsa Lettryana Hasis, & Ida Bagus Anggapurana Pidada. (2024). Pengawasan Akuntabilitas Pemerintah Daerah Terhadap Anggaran Pendapatan Dan Belanja Daerah (Apbd). *Jurnal Ilmiah Dan Karya Mahasiswa*, 2(3), 64–77. <https://doi.org/10.54066/jikma.v2i3.1892>
- Fawwaz, M., Natalisnawati, A., & Baits, M. (2017). Kadar Isoflavon Aglikon Pada Ekstrak Susu Kedelai Dan Tempe Determination Of Isoflavon Aglicone In Extract Of Soymilk And Tempeh. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 6(3), 152–158. <https://doi.org/10.21776/Ub.Industria.2017.006.03.6>
- Hai-Yan Chen, X.-Y. L. B.-J. L. X.-H. M. (2017). Microencapsulation Of *Lactobacillus Bulgaricus* And Survival Assays Under Simulated Gastrointestinal Conditions. *Journal Elsevier*, 29, 248–255.
- Hua Zhou A, H.-M. L. A, Y.-M. D. A, R.-A. Y. A, S.-Y. O. A, T.-F. C. B, Y. W. A, L.-X. Z.
- B, L. F. A. (2017). C-Geranylated Flavanones From Yingde Black Tea And Their Antioxidant And A-Glucosidase Inhibition Activities. *Journal Elsevier*, 235, 227–233.
- Johan C. De Reu R, M. Ten W. J. De G. M. J. R. N. F. M. R. H. G. (1995). Protein Hydrolysis During Soybean Tempe Fermentation With *Rhizopus Oligosporus*. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 43(8), 2235–2239.
- Karmini, M. (2017). Aktivitas Enzim Hidrolitik Kapang *Rhizopus Sp* Pada Proses Fermentasi Tempe. <https://repository.badankebijakan.kemkes.go.id/Id/Eprint/1728>
- Kristiadi Okti Hajeng, & Lunggani Arina Tri. (2022). Tempe Kacang Kedelai Sebagai Pangan Fermentasi Unggulan Khas Indonesia: Literature Review Tempeh As Indonesian Special Fermented Food: Literature Review. *Jurnal Andaliman: Jurnal Gizi Pangan, Klinik Dan Masyarakat*, 22(2), 48–56.
- R. A. Sparringa, J. D. O. (1999). Protein Utilization During Soybean Tempe Fermentation. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 47(10).
- Rosmi Mubarak, Z., & Fatwa, M. (2019). Pengaruh Penambahan Asam Sitrat Pada Proses Perebusan Dan Perendaman Kedelai Untuk Mempercepat Proses Fermentasi Tempe The Effect Of Citric Acid Addition In Boiling And Soaking Process Of Soybean On Accelerating Of Tempe Fermentation. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia Unpam*, 3(1), 17–22.
- Stodolak, B. Zena, Nska-Janiszewska, A. S., Mika, M., & Wikiera, A. (2020a). *Rhizopus Oligosporus* And *Lactobacillus Plantarum* Co-Fermentation As A Tool For Increasing The Antioxidant Potential Of Grass Pea And Flaxseed Oil-Cake Tempe. *Molecules*, 25(20), 1–13. <https://doi.org/10.3390/Molecules25204759>
- Stodolak, B. Zena, Nska-Janiszewska, A. S., Mika, M., & Wikiera, A. (2020b). *Rhizopus Oligosporus* And *Lactobacillus Plantarum* Co-Fermentation As A Tool For Increasing The Antioxidant Potential Of Grass Pea And Flaxseed Oil-Cake Tempe. *Molecules*, 25(20). <https://doi.org/10.3390/Molecules25204759>
- Sun, T., Wang, Z., Dai, Y., Zhai, K., Fang, X., Chen, Y., Zhao, B., & Dong, M. (2025). Metabolomics Study On Fermented Soybean Meal By *Rhizopus Oligosporus* Rt-3 And Its Improvement On The Growth Status Of Malnourished Mice. *Food Production, Processing And Nutrition*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S43014-024-00286-W>
- Sutardi, T. H. (N.D.). Aktivitas Fitase Pada Tahap-Tahap Pembuatan Tempe Kara Benguk, Kara Putih Dan Gude Menggunakan Inokulum *Rhizopus Oligosporus* Nrrl 2710. *Jurnal Agritech*, 13(3), 1–5.
- Sutopo Djoko, M. T. S. D. T. S. M. K. M. (1992). Aktivitas Enzim-Enzim Hidrolitik Kapang *Rhizopus Sp* Pada Tempe. *Ipb University Scientific Repository*. <http://repository.ipb.ac.id/Handle/123456789/120410>

Winson Wiradhamma Ng. (2026). Susu Tempe Sebagai Pangan Fungsional Masa Depan: Tinjauan Potensi Nutrisi, Manfaat Kesehatan, Dan Aplikasi Agroindustri Tempeh Milk As A Future Functional Food: A Review Of Nutritional Potential, Health Benefits, And Agro-Industrial Applications. *Jurnal Agroindustri Pangan*, 5(1), 1–10.

Yetti Mulyati Iskandar, & Sri Priatni. (2008). Isoflavones Aglicone Of Tempe Malang Fried Slices. *Indo. J. Chem*, 8(3), 437–442.

Yongzhu Zhang, R. W. F. A. L. J. H. W. T. H. X. L. R. W. B. L. (2022). Solid-State

Fermentation With *Rhizopus Oligosporus* Rt-3 Enhanced The Nutritional Properties Of Soybeans. *Journal National Library Of Medicine* . <https://doi.org/10.3389/Fnut.2022.972860>