Jurnal Biologi Tropis

Original Research Paper

The Effect of Tapioca Starch Addition on the Growth of *Rhizopus* sp. in Red Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Fermentation for Tempeh Production

Agustina Krida Rahayu, Indah Sulistiyawati*, Muhammad Falah, Eti Wahyuningsih
Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto, Indonesia;

Article History
Received : June 07th, 2026
Revised : September 01th, 2026
Accepted : October 27th, 2026

*Corresponding Author: **Indah Sulistiyawati,** Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto, Purwokerto, Indonesia
Email: indahsulistiyawati.s2@gmail.com

Abstract: Tempeh is commonly produced through soybean fermentation, but red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) have potential as an alternative raw material. Fermentation depends on nutrient availability, particularly carbon sources that support mold growth. Adding tapioca starch may provide an additional carbohydrate source and influence tempeh quality. This study aimed to evaluate the effects of tapioca starch addition on the mycelial growth of *Rhizopus* sp., its microscopic characteristics, and the organoleptic properties of red bean tempeh. Four treatments were applied: T0 (0%, control), T1 (5%), T2 (10%), and T3 (15%), using 100 g of red beans per experimental unit. Mycelial growth was assessed after 24 and 48 hours of incubation, and microscopic characteristics were examined using a microscope. Organoleptic evaluation covered color, aroma, texture, and taste. Mycelial growth data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) when significant differences were detected. Tapioca starch addition significantly affected mycelial growth. At 24 hours, T2 and T3 showed the highest growth scores, whereas at 48 hours, T3 exhibited the highest score and differed significantly from the other treatments. Microscopic examination revealed branched aseptate hyphae, erect sporangiophores, round-to-oval sporangia, and columellae. No apparent morphological differences were observed among treatments, although denser mold growth was observed in T3. In the organoleptic evaluation, T3 received the highest average score (3.70), while T1 received the lowest (3.29). Overall, the 15% tapioca starch treatment produced the highest mycelial growth score at 48 hours and the highest average organoleptic score, without apparent changes in the microscopic morphology of *Rhizopus* sp.

Keywords: Organoleptic quality; Red bean tempeh; *Rhizopus* sp. mycelial growth; Tapioca starch.

Pendahuluan

Tempe merupakan salah satu makanan tradisional khas Indonesia yang dihasilkan melalui proses fermentasi dengan bantuan kapang *Rhizopus* sp. sebagai agen utama. Tempe banyak dikonsumsi karena memiliki kandungan gizi yang baik dan berpotensi memberikan manfaat kesehatan (Surya *et al.*, 2024; Teoh *et al.*, 2024). Kedelai merupakan bahan baku utama yang umum digunakan dalam pembuatan tempe. Di Indonesia, pemenuhan kebutuhan kedelai untuk produksi tempe masih bergantung pada pasokan dari luar negeri. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2021), Indonesia mengimpor sekitar 2,49 juta ton kedelai. Ketergantungan terhadap bahan baku impor dapat menyebabkan produksi tempe menghadapi fluktuasi harga dan keterbatasan pasokan (Xyalam *et al.*, 2023). Kondisi tersebut mendorong perlunya pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai alternatif bahan baku tempe untuk mendukung diversifikasi pangan dan keberlanjutan produksi.

Kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.) merupakan salah satu alternatif bahan nabati

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
© 2026 The Author(s). This article is open access

yang dapat dipertimbangkan dalam pembuatan tempe. Maryam *et al.* (2024) melaporkan bahwa kacang merah dapat diolah melalui fermentasi menjadi tempe dengan karakteristik nutrisi yang baik. Dalam proses fermentasi, pertumbuhan *Rhizopus* sp. merupakan salah satu faktor penting dalam pembentukan tempe. Pertumbuhan kapang dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi, termasuk sumber karbon yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung pertumbuhan dan pembentukan biomassa miselium. Kapang *Rhizopus* sp. mampu menghasilkan enzim amilolitik yang berperan dalam pemecahan pati menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga dapat dimanfaatkan dalam proses metabolisme kapang. Kemampuan tersebut menjadi salah satu dasar pertimbangan penggunaan pati tapioka sebagai sumber karbon tambahan dalam fermentasi. Penelitian mengenai pertumbuhan *Rhizopus* pada berbagai substrat menunjukkan bahwa tapioka dapat mendukung pertumbuhan kapang, meskipun tingkat pertumbuhan juga dipengaruhi oleh kandungan nutrisi substrat dan kondisi fermentasi (Surbakti *et al.*, 2022; Pothiraj & Eyini, 2007).

Penggunaan pati sebagai sumber karbon tambahan juga telah dikaji pada fermentasi tempe. Rizal *et al.* (2020) menunjukkan bahwa penambahan sumber karbon berpengaruh terhadap jumlah kapang pada tempe, dan perlakuan dengan penambahan tapioka 10% menghasilkan jumlah kapang yang lebih tinggi dibandingkan beberapa perlakuan lainnya. Penelitian Nursiwi *et al.* (2021) juga mengkaji penggunaan berbagai substrat dalam penyediaan starter tempe berbasis *Rhizopus oryzae*, sedangkan Putri *et al.* (2021) mengkaji viabilitas *Rhizopus microsporus* pada berbagai substrat untuk aplikasinya sebagai kultur starter fermentasi tempe. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa jenis dan karakteristik substrat merupakan aspek penting dalam mendukung pertumbuhan *Rhizopus* pada proses fermentasi.

Maryam *et al.* (2024) mengkaji pemanfaatan kacang merah sebagai bahan dalam pembuatan tempe melalui proses fermentasi. Selain itu, penelitian terdahulu telah membahas pemanfaatan sumber karbon atau substrat untuk mendukung pertumbuhan *Rhizopus*. Namun, penelitian yang secara khusus membahas pengaruh variasi penambahan pati tapioka terhadap pertumbuhan *Rhizopus* sp. selama fermentasi kacang merah menjadi tempe masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan pati tapioka terhadap pertumbuhan *Rhizopus* sp. pada fermentasi kacang merah. Selain pertumbuhan kapang, karakteristik mikroskopis dan kualitas organoleptik juga perlu diperhatikan untuk memberikan gambaran mengenai karakter pertumbuhan kapang serta penerimaan produk yang dihasilkan.

Kajian ini menganalisis pengaruh variasi penambahan pati tapioka terhadap pertumbuhan miselium *Rhizopus* sp. pada fermentasi kacang merah serta karakter mikroskopis kapang dan kualitas organoleptik tempe yang dihasilkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang pemanfaatan pati tapioka sebagai sumber karbon tambahan dalam fermentasi tempe berbahan dasar kacang merah serta mendukung pengembangan produk tempe non-kedelai berbasis bahan lokal dan diversifikasi pangan.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian berlangsung pada Desember 2025 di Desa Sikapat, Kecamatan Sumbang, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah. Sementara itu, Pengamatan mikroskopis sampel dilakukan di Laboratorium IPA Terpadu, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto.

Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan meliputi timbangan digital, panci, baskom, tampah bambu, mikroskop cahaya, objek glass, jarum ose, dan pipet tetes. Bahan yang digunakan terdiri atas kacang merah, tepung tapioka, ragi tempe, air bersih, metilen biru, safranin, dan alkohol 70%.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor perlakuan, yaitu penambahan pati tapioka pada taraf 0% (T0), 5% (T1), 10% (T2), dan 15% (T3). Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 12 unit percobaan.

Prosedur Penelitian

Pembuatan tempe dilakukan dengan modifikasi dari Suknia dan Rahmani (2020), meliputi tahapan perendaman, perebusan, proses pendinginan, inokulasi ragi, pengemasan, serta inkubasi. Dalam penelitian ini, Kacang merah direndam selama 12 jam, direbus selama 30 menit, lalu direndam kembali selama 12 jam. Setelah kulit ari dikupas, kacang merah dikukus selama 30 menit sebelum didinginkan di atas tampah bambu secara merata. Sebanyak 1200 g kacang merah dicampur dengan 4 g ragi tempe, kemudian dibagi menjadi 12 satuan percobaan masing-masing sebanyak 100g. Setiap satuan percobaan diberi tambahan pati tapioka sesuai dengan perlakuan, yaitu T0 (0%), T1 (5%), T2 (10%), dan T3 (15%), kemudian dicampur hingga merata. Selanjutnya, masing - masing perlakuan dikemas menggunakan plastik yang telah dilubangi kecil dan difermentasi pada suhu ruang selama 48 jam.

Pengamatan pertumbuhan *Rhizopus* sp. dilakukan secara makroskopis setiap 24 jam menggunakan metode skoring ketebalan miselium skala 1-5. Pengamatan mikroskopis dilakukan pada akhir fermentasi menggunakan mikroskop cahaya dengan pewarnaan metilen biru dan safranin untuk mengamati hifa,sporangium, dan spora. Uji organoleptik mencakup penilaian warna, aroma, rasa, dan tekstur debgan melibatkan 20 panelis tidak terlatih menggunakan skala hedonik 1-5. Penilaian warna dan aroma dilakukan pada sampel mentah, sedangkan penilaian rasa dan tekstur dilakukan pada sampel yang telah digoreng.

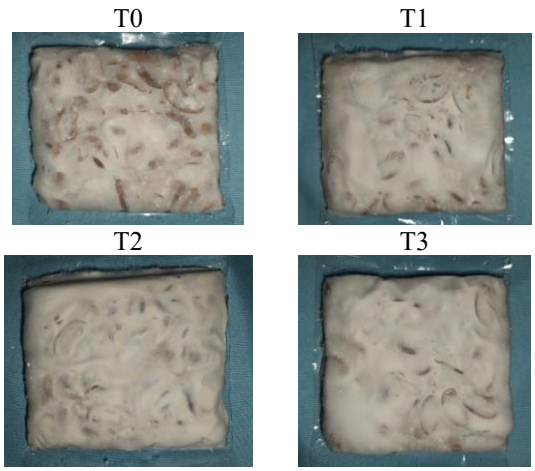
Analisis Data

Data pertumbuhan miselium dianalisis menggunakan ANOVA satu arah pada taraf signifikansi 5%. Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan nyata, analisis dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT). Pengamatan morfologi mikroskopis diuraikan secara kualitatif, sementara hasil organoleptik disajikan secara kuantitatif berdasarkan nilai rata-rata skor hedonik panelis.

Hasil dan Pembahasan

Pertumbuhan Miselium *Rhizopus* sp. Secara Makroskopis

Pengamatan makroskopis menunjukkan bahwa miselium *Rhizopus* sp. tumbuh pada seluruh perlakuan dengan karakteristik berwarna putih hingga putih keabu-abuan, bertekstur menyerupai kapas, dan menyebar pada permukaan kacang merah. Ketebalan dan kerapatan miselium menunjukkan kecenderungan lebih tinggi pada perlakuan dengan penambahan pati tapioka. Rata-rata ketebalan miselium *Rhizopus* sp. pada inkubasi 24 jam disajikan pada Tabel 1. Visualisasi pertumbuhan miselium pada masing-masing perlakuan setelah 48 jam inkubasi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pertumbuhan miselium *Rhizopus* sp. setelah 48 jam inkubasi (T0 = 0% pati tapioka, T1 = 5% pati tapioka, T2 = 10% pati tapioka, T3 = 15% pati tapioka)

Tabel 1. Rata-rata ketebalan miselium *Rhizopus* sp. pada inkubasi 24 jam

Perlakuan	Rata-rata Skor
T0 (0% pati tapioka)	2,67
T1 (5% pati tapioka)	3,00
T2 (10% pati tapioka)	4,00
T3 (15% pati tapioka)	4,00

Berdasarkan Tabel 1, perlakuan dengan penambahan pati tapioka 10% dan 15% menunjukkan ketebalan miselium lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa penambahan pati tapioka. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa penambahan pati tapioka memberikan pengaruh sangat signifikan terhadap pertumbuhan miselium *Rhizopus* sp. pada inkubasi 24 jam ($p < 0,001$).

Hasil uji lanjut DMRT memperlihatkan bahwa

perlakuan T2 dan T3 memiliki perbedaan signifikan dibandingkan T0 dan T1, sementara kedua perlakuan tersebut tidak menunjukkan perbedaan signifikan satu sama lain. Rata-rata ketebalan miselium *Rhizopus* sp. pada inkubasi 48 jam disajikan pada Tabel 2.

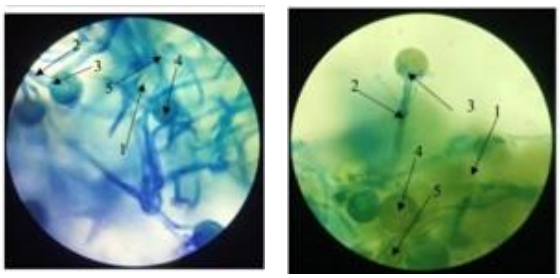
Tabel 2. Rata-rata ketebalan miselium Rhizopus sp. pada inkubasi 48 jam

Perlakuan	Rata-rata Skor
T0 (0% pati tapioka)	4,00
T1 (5% pati tapioka)	4,00
T2 (10% pati tapioka)	4,33
T3 (15% pati tapioka)	5,00

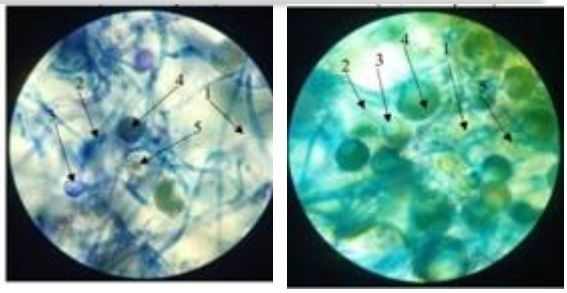
Inkubasi 48 jam, perlakuan T3 menunjukkan ketebalan miselium tertinggi dengan rata-rata skor 5,00. Hasil ANOVA mengindikasikan adanya pengaruh signifikan dari penambahan pati tapioka terhadap pertumbuhan miselium *Rhizopus* sp. ($p = 0,009$). Berdasarkan uji DMRT, perlakuan T3 menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

Karakter Mikroskopis *Rhizopus* sp. pada Tempe Kacang Merah

Pengamatan mikroskopis bertujuan untuk mengidentifikasi ciri morfologi *Rhizopus* sp. pada tempe kacang merah yang diberi perlakuan penambahan pati tapioka dalam jumlah berbeda. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop cahaya dengan pewarnaan metilen biru dan safranin pada perbesaran 400×. Hasil pengamatan struktur mikroskopis *Rhizopus* sp. dengan pewarnaan metilen biru disajikan pada Gambar 1.



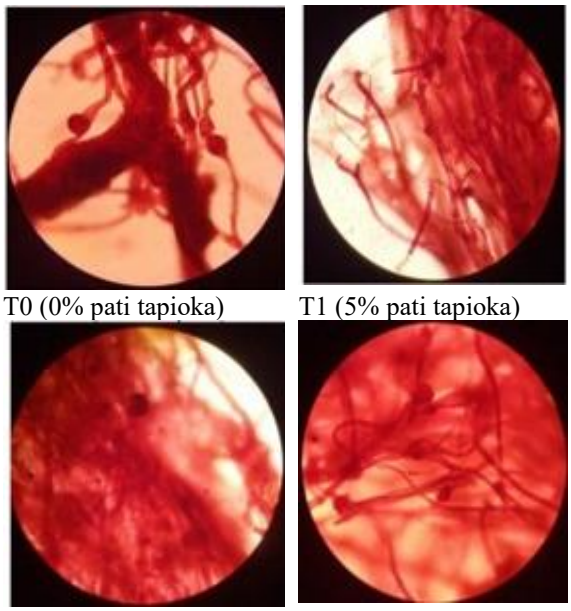
T0 (0% pati tapioka) T1 (5% pati tapioka)



T2 (10% pati tapioka) T3 (15% pati tapioka)

Gambar 1. Morfologi *Rhizopus* sp. pada tempe kacang merah yang diberi perlakuan penambahan pati tapioka setelah inkubasi selama 52 jam, diamati pada perbesaran 400×. Keterangan: (1) hifa aseptat, (2) sporangiofor, (3) Kolumela, (4) sporangium, (5) spora.

Hasil pengamatan menggunakan pewarnaan safranin disajikan pada Gambar 2.



T0 (0% pati tapioka) T1 (5% pati tapioka)

T2 (10% pati tapioka) T3 (15% pati tapioka)

Gambar 2. Morfologi *Rhizopus* sp. pada tempe kacang merah yang diberi perlakuan penambahan pati tapioka setelah inkubasi selama 52 jam, diamati pada perbesaran 400×.

Hasil pengamatan, kapang yang tumbuh pada seluruh perlakuan memperlihatkan ciri morfologi *Rhizopus* sp., meliputi hifa aseptat yang bercabang, sporangiofor yang tumbuh tegak, sporangium dengan bentuk bulat hingga oval, serta keberadaan kolumela dan spora. Struktur sporangium tampak lebih gelap pada fase matang. Secara umum, penambahan pati tapioka tidak menunjukkan perbedaan morfologi yang mencolok antarperlakuan. Namun

kepadatan miselium tampak lebih tinggi pada perlakuan dengan penambahan pati tapioka, terutama T2 (10%) dan T3 (15%), dibandingkan T0 (0%) dan T1 (5%).

Uji Organoleptik Tempe Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris* L.)

Uji organoleptik bertujuan untuk mengetahui tingkat kesukaan panelis terhadap tempe kacang merah dengan variasi penambahan pati tapioka berdasarkan parameter tekstur, aroma, rasa, dan warna. Pengujian melibatkan 20 panelis tidak terlatih menggunakan skala hedonik 1–5. Rata-rata skor penilaian panelis disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3, seluruh perlakuan memperoleh nilai rata-rata organoleptik pada kategori cukup suka hingga suka. Perlakuan T3 memperoleh nilai tertinggi pada parameter tekstur (3,70), rasa (3,95), dan warna (3,65), sedangkan nilai aroma tertinggi diperoleh pada T2 (3,55).

Tabel 3. Rerata Skor Organoleptik Tempe Kacang merah

Parameter	Perlakuan			
	T0	T1	T2	T3
Tekstur	3,6	3,55	3,65	3,7
Aroma	3,25	3,25	3,55	3,5
Rasa	3,5	2,9	3,3	3,95
Warna	3,55	3,45	3,55	3,65

Pembahasan

Pengaruh Pati Tapioka terhadap Pertumbuhan *Rhizopus* sp.

Penambahan pati tapioka terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan miselium *Rhizopus* sp. selama fermentasi kacang merah. Pati tapioka berperan sebagai sumber karbon tambahan yang dapat dimanfaatkan kapang untuk mendukung aktivitas metabolisme dan pembentukan biomassa miselium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan pati tapioka 10% dan 15% menghasilkan pertumbuhan miselium yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa penambahan pati tapioka, terutama pada inkubasi 24 jam. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Surbakti *et al.* (2022) dan Ratnajunita *et al.* (2024), yang menyatakan bahwa penambahan sumber pati tapioka dapat mendukung pertumbuhan kapang selama fermentasi tempe.

Di fase awal fermentasi, *Rhizopus* sp. masih berada pada tahap adaptasi terhadap substrat sehingga pertumbuhan miselium belum optimal. Keberadaan pati tapioka sebagai sumber karbon tambahan diduga dapat menunjang proses metabolisme dan pembentukan biomassa miselium. Kondisi tersebut terlihat pada perlakuan T2 dan T3 yang menunjukkan pertumbuhan miselium lebih tinggi dibandingkan T0 dan T1 pada inkubasi 24 jam. Ketersediaan nutrisi, khususnya karbohidrat, berperan penting dalam mendukung pembentukan dan pemanjangan hifa selama fermentasi berlangsung (Jin *et* al., 2005; Zhao *et al*., 2024).

Ketersediaan karbon berperan penting dalam menunjang pertumbuhan kapang karena dibutuhkan untuk aktivitas metabolisme dan pembentukan biomassa. Sumber karbohidrat dapat dimanfaatkan oleh kapang melalui aktivitas enzim hidrolitik untuk menghasilkan senyawa yang selanjutnya digunakan dalam metabolisme (Ramirez-Esparza *et al*., 2025). Penambahan pati sebagai sumber karbon tambahan dapat membantu memenuhi kebutuhan nutrisi *Rhizopus* sp. pada substrat fermentasi. Sebaliknya, pada perlakuan T0 tanpa penambahan pati tapioka, kapang hanya memperoleh sumber karbon dari komponen nutrisi kacang merah sehingga pertumbuhan awal miselium cenderung lebih rendah. Temuan Zhao *et al.* (2024) juga memperlihatkan bahwa kecukupan karbon dan nitrogen merupakan faktor yang mendukung pertumbuhan dan pembentukan biomassa *Rhizopus*.

Inkubasi 48 jam, pengaruh penambahan pati tapioka terhadap pertumbuhan miselium terlihat semakin jelas seiring berlangsungnya proses fermentasi. Perlakuan T3 menghasilkan ketebalan miselium tertinggi dengan rata-rata 5,00 dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Kondisi tersebut diduga karena ketersediaan sumber karbon yang lebih tinggi pada T3 dapat mendukung aktivitas metabolisme dan pembentukan biomassa miselium selama fermentasi berlangsung. Perbedaan respons antara inkubasi 24 dan 48 jam mengindikasikan adanya pengaruh durasi fermentasi terhadap pertumbuhan *Rhizopus* sp. Pada inkubasi 24 jam, perlakuan T2 dan T3 memperlihatkan pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan T0 dan T1, tetapi keduanya belum menunjukkan perbedaan nyata. Setelah 48 jam, T3 menghasilkan pertumbuhan tertinggi dan berbeda nyata dari perlakuan lainnya. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pengaruh penambahan

pati tapioka terhadap pertumbuhan miselium semakin terlihat pada waktu fermentasi yang lebih lama, terutama pada penambahan 15%.

Secara makroskopis, miselium *Rhizopus* sp. pada seluruh perlakuan menunjukkan karakteristik berwarna putih hingga putih keabu-abuan, bertekstur menyerupai kapas, dan menyebar pada permukaan kacang merah. Peningkatan ketebalan dan kerapatan miselium selama fermentasi menunjukkan bahwa *Rhizopus* sp. mampu mengkolonisasi substrat kacang merah. Karakteristik miselium menyerupai kapas dengan warna putih hingga putih keabu-abuan merupakan ciri pertumbuhan *Rhizopus* sp. yang umum ditemukan pada fermentasi tempe (Yarlina *et al*., 2023).

Secara keseluruhan, pemberian pati tapioka berpotensi menunjang perkembangan miselium *Rhizopus* sp. selama proses fermentasi kacang merah. Pengaruh tersebut terlihat sejak inkubasi 24 jam pada perlakuan T2 dan T3, sedangkan pada inkubasi 48 jam pertumbuhan tertinggi dan perbedaan nyata diperoleh pada perlakuan T3 dengan penambahan pati tapioka 15%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan pati tapioka 15% merupakan perlakuan yang paling efektif dalam mendukung ketebalan miselium *Rhizopus* sp. pada kondisi fermentasi yang digunakan dalam penelitian ini.

Karakter Mikroskopis *Rhizopus* sp. pada Tempe Kacang Merah

Karakter mikroskopis yang diamati pada penelitian ini menunjukkan ciri khas genus *Rhizopus*, yaitu hifa tidak bersekat (aseptat), sporangiofor yang berdiri tegak, sporangium berbentuk bulat hingga oval, serta struktur kolumela dan spora. Karakteristik tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa *Rhizopus* sp. memiliki karakter morfologi mikroskopis yang khas pada substrat fermentasi (A'yun & Janah, 2022).

Penambahan pati tapioka tidak menunjukkan perubahan yang mencolok terhadap karakter morfologi dasar *Rhizopus* sp. Namun, kepadatan miselium terlihat lebih tinggi pada perlakuan T2 (10%) dan T3 (15%) dibandingkan T0 (0%) dan T1 (5%). Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan ketersediaan sumber karbon tambahan dari pati tapioka yang dapat mendukung aktivitas metabolisme dan pembentukan biomassa kapang selama fermentasi. Hasil ini mengindikasikan bahwa perbedaan perlakuan pati tapioka lebih tampak pada kepadatan miselium daripada pada perubahan karakteristik morfologi mikroskopis *Rhizopus* sp. (Surbakti *et al*., 2022).

Secara keseluruhan, karakter mikroskopis *Rhizopus* sp. pada seluruh perlakuan menunjukkan struktur morfologi yang relatif serupa, meskipun terdapat perbedaan pada kepadatan miselium yang tampak secara visual. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan pati tapioka dalam penelitian ini tidak mengubah karakteristik dasar *Rhizopus* sp., tetapi dapat mendukung pertumbuhan dan pembentukan biomassa miselium pada substrat kacang merah.

Tekstur

Hasil uji organoleptik menunjukkan bahwa perlakuan T3 memperoleh skor kesukaan tekstur tertinggi, yaitu 3,70, sedangkan T1 memperoleh skor terendah, yaitu 3,55. Meskipun perbedaan skor antarperlakuan relatif kecil, penambahan pati tapioka cenderung menghasilkan tekstur tempe yang lebih disukai panelis. Kondisi tersebut diduga berhubungan dengan miselium *Rhizopus* sp. yang tumbuh lebih tebal dan tersebar merata sehingga mampu membentuk jaringan tempe yang lebih menyatu. Temuan ini sesuai dengan laporan Mogea *et al*. (2024) yang mengemukakan bahwa terbentuknya tempe kacang merah yang semakin menyatu berkaitan dengan proses fermentasi dan pertumbuhan kapang. Pertumbuhan miselium yang optimal berperan dalam menghasilkan tekstur tempe yang padat dan tidak mudah rapuh (Hanapi *et al*., 2023; Moulia *et al*., 2024).

Pati tapioka juga dapat berperan sebagai sumber karbon tambahan yang mendukung pertumbuhan kapang selama fermentasi. Ketersediaan karbohidrat dalam substrat dapat mendukung pembentukan biomassa miselium sehingga berkontribusi terhadap struktur dan kekompakan tempe (Wimbasara *et al*., 2025). Dengan demikian, skor tekstur yang lebih tinggi pada T3 selaras dengan hasil pengamatan pertumbuhan miselium yang memperlihatkan bahwa T3 menghasilkan miselium paling tebal pada inkubasi 48 jam.

Aroma

Penilaian aroma memperlihatkan bahwa skor tertinggi terdapat pada perlakuan T2, yaitu 3,55, diikuti oleh T3 dengan skor 3,50. Kedua perlakuan tersebut termasuk dalam kategori suka,

sedangkan T0 dan T1 termasuk kategori cukup suka dengan skor masing-masing 3,25. Perbedaan skor tersebut menunjukkan bahwa tempe dengan penambahan pati tapioka 10% dan 15% cenderung lebih disukai panelis berdasarkan aroma.

Aroma tempe terbentuk selama fermentasi melalui aktivitas metabolisme *Rhizopus* sp. yang menghasilkan berbagai senyawa volatil. Pertumbuhan kapang selama fermentasi berperan dalam pembentukan aroma khas tempe (Sanjaya *et al*., 2024). Ketersediaan nutrisi dalam substrat dapat mendukung aktivitas metabolisme kapang sehingga berkontribusi terhadap pembentukan aroma khas tempe. Aroma tempe yang tidak terlalu menyengat dan memiliki karakteristik khas fermentasi umumnya lebih disukai panelis (Sundari *et al*., 2024). Pada penelitian ini, skor aroma tertinggi pada T2 menunjukkan bahwa penambahan pati tapioka 10% menghasilkan tingkat penerimaan aroma yang paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

Rasa

Pada parameter rasa, perlakuan T3 memperoleh skor tertinggi, yaitu 3,95 dan termasuk kategori suka, sedangkan T1 memperoleh skor terendah, yaitu 2,90 dan termasuk kategori cukup suka. Skor rasa pada T0, T1, dan T2 masing-masing sebesar 3,50, 2,90, dan 3,30. Hasil tersebut menunjukkan bahwa T3 merupakan perlakuan yang paling disukai panelis berdasarkan parameter rasa.

Rasa tempe terbentuk selama fermentasi melalui aktivitas enzimatik *Rhizopus* sp. yang menguraikan komponen nutrisi substrat menjadi senyawa yang berkontribusi terhadap cita rasa tempe (Rizal *et al*., 2020; Wikandari *et al*., 2021). Pati tapioka sebagai sumber karbon pelengkap diperkirakan dapat menunjang proses metabolisme kapang selama fermentasi sehingga turut berperan dalam pembentukan senyawa yang memengaruhi cita rasa. Tingginya skor rasa pada T3 juga sejalan dengan pertumbuhan miselium yang lebih tinggi pada perlakuan tersebut, terutama setelah inkubasi 48 jam.

Warna

Pada parameter warna, seluruh perlakuan memperoleh kategori suka dengan skor antara 3,45–3,65. Perlakuan T3 memperoleh skor tertinggi sebesar 3,65, sedangkan T1 memperoleh skor terendah sebesar 3,45. Tempe pada seluruh perlakuan menunjukkan warna putih hingga putih keabu-abuan dengan pertumbuhan miselium yang menutupi permukaan kacang merah.

Warna menjadi salah satu aspek penampilan yang dapat memengaruhi tingkat kesukaan panelis terhadap produk fermentasi. Pertumbuhan miselium *Rhizopus* sp. yang merata dapat menghasilkan permukaan tempe yang lebih putih dan seragam sehingga memberikan tampilan yang lebih baik (Hanapi *et al*., 2023; Sundari *et al*., 2024). Warna putih tersebut berasal dari miselium kapang yang menutupi permukaan substrat selama fermentasi (Kusnandar *et al*., 2020). Pada penelitian ini, skor warna tertinggi pada T3 diduga berkaitan dengan pertumbuhan miselium yang lebih tebal dan merata dibandingkan perlakuan lainnya.

Secara keseluruhan, perlakuan T3 memperoleh nilai rata-rata organoleptik tertinggi sebesar 3,70 dan termasuk kategori suka. Perlakuan T3 memperoleh skor tertinggi pada parameter tekstur, rasa, dan warna, sedangkan skor aroma tertinggi diperoleh pada T2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian pati tapioka 15% menghasilkan penerimaan panelis secara keseluruhan yang paling tinggi terhadap tempe kacang merah pada kondisi penelitian ini.

Kesimpulan

Hasil penelitian ini memperlihatkan adanya pengaruh penambahan pati tapioka terhadap pertumbuhan *Rhizopus* sp. selama fermentasi kacang merah menjadi tempe. Penambahan pati tapioka 10% dan 15% menghasilkan pertumbuhan miselium yang lebih tinggi setelah inkubasi selama 24 jam, sedangkan setelah inkubasi selama 48 jam, perlakuan 15% menunjukkan pertumbuhan miselium tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya. Secara mikroskopis, *Rhizopus* sp. menunjukkan karakteristik berupa hifa aseptat bercabang, sporangiofor tegak, sporangium, kolumela, dan spora. Penambahan pati tapioka tidak mengubah karakteristik morfologi dasar *Rhizopus* sp., tetapi cenderung meningkatkan kepadatan miselium. Hasil uji organoleptik menunjukkan bahwa tempe kacang merah pada seluruh perlakuan dapat diterima panelis dengan kategori cukup suka hingga suka, dengan perlakuan 15% memperoleh nilai rata-rata penerimaan tertinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini, khususnya kepada dosen pembimbing dan pihak laboratorium atas bimbingan, bantuan serta fasilitas yang diberikan.

Referensi

A'yun, Q., & Janah, L. U. (2022). Isolasi *Rhizopus oligosporus* dan *Rhizopus stolonifer* pada tiga tempe di Kelurahan Jatimakmur, Bekasi. *Konservasi Hayati, 18* (2): 44–50. DOI: https://doi.org/10.33369/hayati.v18i2.23801

Badan Pusat Statistik. (2021). *Volume dan nilai impor kedelai menurut negara asal utama tahun 2021*. Badan Pusat Statistik. https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjAxNSMx/impor-kedelai-menurut-negara-asal-utama--2017-2023

Hanapi, F., Sar, K., & Darmawan, E. (2023). Sifat kimia, fisik, organoleptik keripik tempe tapioka pada berbagai konsentrasi *Rhizopus* sp. dan lama fermentasi. *Agrotech: Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian, 5* (1): 48–62. DOI: https://doi.org/10.37631/agrotech.v5i1.1409

Jin, B., Yin, P., Ma, Y., & Zhao, L. (2005). Production of lactic acid and fungal biomass by *Rhizopus* fungi from food processing waste streams. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 32*: 678–686. DOI: https://doi.org/10.1007/s10295-005-0045-4

Kusnandar, F., Karisma, V. W., Firlieyanti, A. S., & Purnomo, E. H. (2020). Perubahan komposisi kimia tempe kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.) selama pengolahan. *Jurnal Teknologi Pangan, 14* (1): 108–123. DOI: https://doi.org/10.33005/jtp.v14i1.2187

Maryam, S., Sastrawidana, I. D. K., Sudiana, I. K., & Sukarta, I. N. (2024). Nutritional profile analysis of red bean tempeh fermented using *Rhizopus oligosporus* at different time. *International Journal of Nutrition and Food Sciences, 13* (5): 199–208. DOI: https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20241305.15

Mogea, R. A., Siwi, V. H., & Mogea, R. A. (2024). Variasi ragi pada pembuatan tempe kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.). *Jurnal Natural, 20* (2): 38–45. DOI: https://doi.org/10.30862/jn.v12i2.278

Moulia, M. N., Ahmad, S. R., & Afifah, N. (2024). Pengaruh konsentrasi ragi dan lama waktu fermentasi terhadap kadar protein, kadar serat dan sensori tempe segar. *Teknotan, 18* (3): 199–204. DOI: https://doi.org/10.24198/jt.vol18n3.5

Nursiwi, A., Pertiwi, F., Ishartani, D., Sari, A. M., & Zaman, M. Z. (2021). Substrates and storage time evaluation for preparing tempeh starter from *Rhizopus oryzae* CBS130145. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 828* (1): 012003. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/828/1/012003

Pothiraj, C., & Eyini, M. (2007). Enzyme activities and substrate degradation by fungal isolates on cassava waste during solid state fermentation. *Mycobiology, 35* (4): 196–204. DOI: https://doi.org/10.4489/MYCO.2007.35.4.196

Putri, M. K., Sari, A. M., Zaman, M. Z., Nursiwi, A., & Ishartani, D. L. (2021). The viability of *Rhizopus microsporus* APBSMLF19 on different substrates and its application as a starter culture in tempeh fermentation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 828* (1): 012002. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/828/1/012002

Ramírez-Esparza, U., Ordoñez-Cano, A. J., López-Martínez, L. X., Espinoza-Hicks, J. C., Alvarado-González, M., Ascacio-Valdés, J. A., & Buenrostro-Figueroa, J. J. (2025). Solid-state fermentation with *Rhizopus oryzae*: Enhancing antioxidant and phenolic content in pigmented corn. *Resources, 14* (10): 158. DOI: https://doi.org/10.3390/resources14100158

Ratnajunita, M. Y., Nazaruddin, & Amaro, M. (2024). Analisis mutu kimia, mikrobiologi dan organoleptik tempe kedelai dengan

penambahan tepung tapioka (*Manihot esculenta*). *EduFood, 2* (2): 64–77. Artikel EduFood

Rizal, S., Murhadi, Kustyawati, M. E., & Hasanudin, U. (2020). Growth optimization of *Saccharomyces cerevisiae* and *Rhizopus oligosporus* during fermentation to produce tempeh with high β-glucan content. *Biodiversitas, 21* (6): 2667–2673. DOI: https://doi.org/10.13057/biodiv/d210639

Sanjaya, B. P., Harini, N., & Anggriani, R. (2024). Pengaruh variasi pengupasan kulit dan jenis daun sebagai kemasan terhadap karakteristik tempe kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Technology and Halal Science Journal, 7* (2): 138–151. DOI: https://doi.org/10.22219/fths.v7i1.35920

Suknia, S. L., & Rahmani, T. P. D. (2020). Proses pembuatan tempe home industry berbahan dasar kedelai (*Glycine max* (L.) Merr) dan kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.) di Candiwesi Salatiga. *Southeast Asian Journal of Islamic Education, 3* (1): 59–76. DOI: https://doi.org/10.21093/sajie.v3i1.2780

Sundari, F. S., Khoirunnisa, Prayudani, A. P. G., Wulandari, N., Syukur, M., & Astawan, M. (2024). A nutritional, physicochemical, and sensory evaluation of tempe combination from cowpea and soybean. *Indonesian Food Science and Technology Journal, 8* (1): 16–26. DOI: https://doi.org/10.22437/ifstj.v8i1.36386

Surbakti, E. S. P., Duniaji, A. S., & Nocianitri, K. A. (2022). Pengaruh jenis substrat terhadap pertumbuhan *Rhizopus oligosporus* DP02 Bali dalam pembuatan ragi tempe. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan (ITEPA), 11* (1): 92–99. DOI: https://doi.org/10.24843/itepa.2022.v11.i01.p10

Surya, R., Amalia, N., Gunawan, W. B., Taslim, N. A., Ghafoor, M., Mayulu, N., Hardinsyah, Syahputra, R. A., Kartawidjajaputra, F., Rizzo, G., Tjandrawinata, R. R., Subali, D., Kurniawan, R., & Nurkolis, F. (2024). Tempe as superior functional antioxidant food: From biomechanism to future development of soybean-based functional food. *Pharmacia, 71*: 1–7. DOI: https://doi.org/10.3897/pharmacia.71.e116748

Teoh, S. Q., Chin, N. L., Chong, C. W., Ripen, A. M., How, S., & Lim, J. J. L. (2024). A review on health benefits and processing of tempeh with outlines on its functional microbes. *Future Foods, 9*: 100330. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100330

Wikandari, R., Kinanti, D. A., Permatasari, R. D., Rahmaningtyas, N. L., Chairunisa, N. R., Sardjono, Hellwig, C., & Taherzadeh, M. J. (2021). Correlations between the chemical, microbiological characteristics and sensory profile of fungal fermented food. *Fermentation, 7* (4): 261. DOI: https://doi.org/10.3390/fermentation7040261

Wimbasara, D. F., Wikandari, R., Setiowati, A. D., Sar, T., & Taherzadeh, M. J. (2025). Texture improvement of filamentous fungi burger derived from biomass of *Rhizopus oligosporus*: Impact of binding agent on physical, sensory, and microstructure. *Trends in Sciences, 22* (3): 8731. DOI: https://doi.org/10.48048/tis.2025.8731

Xyalam, R. J. B. S., Astuti, A., & Sari, R. M. (2023). Pengaruh fluktuasi harga & ketersediaan bahan baku kedelai terhadap hasil produksi perajin tempe di Desa Pejaten, Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences, 5*: 103–112. DOI: https://doi.org/10.30595/pspfs.v5i.710

Yarlina, V. P., Nabilah, F., Djali, M., Andoyo, R., & Lani, M. N. (2023). Mold characterization in "RAPRIMA" tempeh yeast from LIPI and over-fermented Koro Pedang (Jack Beans) tempeh. *Food Research, 7* (S1): 125–132. DOI: https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(S1).27

Zhao, H., Ju, X., Nie, Y., James, T. Y., & Liu, X. (2024). High-throughput screening carbon and nitrogen sources to promote growth and sporulation in *Rhizopus arrhizus*. *AMB Express, 14*: 76. DOI: https://doi.org/10.1186/s13568-024-01733-0