



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Brem Lombok: Karakterisasi Fermentasi dan Perubahan Mutu Minuman Fermentasi Beras Tradisional Suku Sasak

Brem Lombok: Fermentation Characteristics and Quality Changes of a Traditional Sasak Fermented Glutinous Rice Beverage

Fuad Sauqi Isnain^{1*}, Wiwin Apriyanditra²

¹Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, fuadsauqii@staff.unram.ac.id

²Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, wiwinapriyan@staff.unram.ac.id

*Corresponding Author: fuadsauqii@staff.unram.ac.id

Artikel Review

Article History:

Received: 18 Jan, 2026

Revised: 08 Feb, 2026

Accepted: 23 Feb, 2026

Kata Kunci:

Biotransformasi Pati; Brem Lombok; Keamanan Pangan; Metabolomik; Mikrobioma Fermentasi.

Keywords:

Brem Lombok; Fermentation Microbiome; Food Safety; Metabolomics; Starch Biotransformation.

DOI: [10.56338/jks.v9i2.10551](https://doi.org/10.56338/jks.v9i2.10551)

ABSTRAK

Brem Lombok merupakan minuman fermentasi beras ketan (*Oryza sativa* var. glutinosa) tradisional suku Sasak yang diproduksi tanpa proses distilasi dan terbentuk melalui aktivitas mikroba selama fermentasi. Penelitian ini menggunakan metode tinjauan sistematis mengacu pada pedoman PRISMA 2020 untuk mengkaji komposisi mikrobiota, aktivitas enzimatis, profil metabolit, serta aspek keamanan pangan Brem Lombok. Hasil kajian menunjukkan bahwa proses fermentasi melibatkan kapang amilolitik (*Aspergillus* dan *Rhizopus*), bakteri (*Bacillus* spp. dan bakteri asam laktat), serta khamir (*Saccharomyces cerevisiae* dan khamir non-*Saccharomyces*). Mikroba tersebut menghidrolisis pati melalui enzim α -amilase dan glukamilase menjadi glukosa, yang kemudian difermentasi menjadi etanol, asam organik, dan senyawa volatil yang berperan dalam pembentukan aroma dan cita rasa khas. Kestabilan dan keamanan mikrobiologis produk dipengaruhi oleh penurunan pH dan pembentukan etanol selama fermentasi. Selain itu, fermentasi berpotensi meningkatkan ketersediaan senyawa bioaktif, terutama yang berkaitan dengan perubahan senyawa fenolik. Namun, potensi risiko keamanan pangan tetap perlu diperhatikan, khususnya terkait kemungkinan terbentuknya amina biogenik dan etil karbamat, sehingga diperlukan pengendalian higiene proses dan penggunaan kultur starter yang terkontrol. Kajian ini juga menunjukkan masih terbatasnya data mengenai profil metabolit dinamis serta hubungan antara komposisi kimia dan karakter sensori Brem Lombok. Oleh karena itu, pengembangan ke depan dapat diarahkan pada penerapan Indikasi Geografis (IG), pemanfaatan hasil samping sebagai produk bernilai tambah, serta pengembangan kultur starter lokal terstandar untuk meningkatkan konsistensi mutu, keamanan pangan, dan perlindungan keaslian Brem Lombok sebagai produk fermentasi tradisional.

ABSTRACT

Brem Lombok is a traditional fermented glutinous rice beverage (Oryza sativa var. glutinosa) of the Sasak community that is produced without distillation and formed through microbial activity during fermentation. This study employed a systematic review method based on the PRISMA 2020 guidelines to examine the microbiota composition, enzymatic activity, metabolite profile, and food safety aspects of Brem Lombok. The results indicate that the fermentation process involves amylolytic molds (Aspergillus and Rhizopus), bacteria (Bacillus spp. and lactic acid bacteria), and yeasts (Saccharomyces cerevisiae and non-Saccharomyces yeasts). These microorganisms hydrolyze starch through the action of α -amylase and glucoamylase into glucose, which is subsequently fermented into ethanol, organic acids, and volatile compounds that contribute to the characteristic aroma and flavor of the product. The microbiological stability and safety of the beverage are influenced by pH reduction and ethanol formation during fermentation. In addition, fermentation may enhance the availability of bioactive compounds, particularly those associated with changes in phenolic compounds. However, potential food safety risks still need to be considered, especially the possible formation of biogenic amines and ethyl carbamate, highlighting the importance of proper hygiene control and the use of controlled starter cultures. The review also reveals limited data on dynamic metabolite profiles and the relationship between chemical composition and sensory characteristics of Brem Lombok. Therefore, future development should focus on the implementation of Geographical Indication (GI), valorization of by-products into value-added products, and the development of standardized local starter cultures to improve quality consistency, food safety, and the protection of Brem Lombok's authenticity as a traditional fermented product.

PENDAHULUAN

Fermentasi pangan berbasis pati merupakan teknologi pengolahan tradisional yang berperan penting dalam diversifikasi pangan, peningkatan mutu gizi, dan pengembangan produk fermentasi, khususnya di kawasan Asia Tenggara. Fermentasi sereal telah lama dilakukan sebagai bentuk bioteknologi tradisional yang melibatkan aktivitas mikroorganisme, terutama kapang amilolitik, khamir, dan bakteri asam laktat (BAL), pada substrat berbasis pati (Steinkraus, 2002; Tamang et al., 2016). Melalui proses fermentasi, pati dihidrolisis menjadi gula sederhana yang kemudian difermentasi menjadi etanol, asam organik, dan senyawa volatil yang memengaruhi rasa, aroma, serta stabilitas produk fermentasi (Ray & Joshi, 2014; Tamang et al., 2016).

Di Indonesia, Brem Lombok dikenal sebagai minuman fermentasi beras ketan (*Oryza sativa* var. glutinosa) non-distilasi yang termasuk dalam fermentasi berbasis hidrolisis pati. Proses fermentasinya memiliki kemiripan dengan minuman fermentasi beras tradisional lain, seperti sake, makgeolli, dan huangjiu, yang melibatkan aktivitas enzim kapang serta fermentasi gula oleh khamir dan BAL (Jin et al., 2017; Tamang et al., 2016). Namun, penggunaan istilah “brem” dalam literatur ilmiah masih menimbulkan kerancuan karena merujuk pada dua produk berbeda, yaitu brem padat dari Jawa dan brem cair dari Bali dan Lombok. Perbedaan istilah ini dapat menyebabkan bias dalam perbandingan penelitian dan kesalahan klasifikasi data fermentasi beras tradisional (Aidoo et al., 2006; Tamang & Kailasapathy, 2010). Oleh karena itu, dalam kajian ini Brem Lombok didefinisikan secara spesifik sebagai minuman fermentasi cair berbasis beras ketan yang dihasilkan melalui fermentasi campuran menggunakan ragi tapai atau fermentasi spontan.

Secara umum, fermentasi Brem Lombok berlangsung melalui hidrolisis pati oleh enzim amilolitik, terutama α -amilase dan glucoamilase, yang terjadi bersamaan dengan fermentasi gula oleh khamir dan BAL (Chiang Y. W. et al., 2006; Tamang et al., 2016). Kapang seperti *Aspergillus* dan *Rhizopus* berperan dalam menguraikan pati menjadi glukosa dan oligosakarida. Gula hasil hidrolisis kemudian dimanfaatkan oleh khamir, terutama *Saccharomyces cerevisiae*, untuk menghasilkan etanol dan senyawa volatil, sedangkan BAL berperan dalam menurunkan pH dan meningkatkan stabilitas mikrobiologis produk (Lv et al., 2013; Tamang et al., 2016).

Meskipun Brem Lombok memiliki nilai ilmiah sebagai sistem fermentasi campuran, kajian terindeks global mengenai komposisi mikrobiota, dinamika metabolit, dan mekanisme biokimia fermentasinya masih terbatas dan umumnya bersifat deskriptif. Penelitian sebelumnya lebih banyak melaporkan parameter dasar, seperti pH sekitar 3, gula residu, dan kadar etanol moderat, serta sering mengasumsikan dominansi *Saccharomyces cerevisiae* tanpa analisis komunitas mikroba secara menyeluruh (Nout & Aidoo, 2002; Tamang et al., 2016).

Selain itu, pendekatan berbasis kultur yang umum digunakan berpotensi tidak mendeteksi mikroorganisme non-kulturabel yang juga berperan dalam pembentukan metabolit dan karakter sensori. Dibandingkan dengan produk fermentasi beras lain yang telah banyak dikaji menggunakan teknik sekuensing dan analisis metabolit modern, karakterisasi ilmiah Brem Lombok masih relatif terbatas. Keterbatasan data mengenai mikrobiota, jalur metabolik, dan profil metabolit menyebabkan pemahaman hubungan antara aktivitas mikroba, perubahan kimia selama fermentasi, dan perkembangan sifat sensori belum sepenuhnya komprehensif (Cocolin et al., 2013; P. Wang et al., 2014; Wolfe & Dutton, 2015). Oleh karena itu, kajian ini penting untuk memperjelas definisi ilmiah Brem Lombok, mengkaji komposisi mikrobiota dan perubahan metabolit selama fermentasi, serta menyediakan dasar ilmiah yang lebih sistematis bagi pengembangan penelitian fermentasi beras ketan di masa depan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan sistematis (systematic review) untuk mengkaji karakteristik fermentasi Brem Lombok sebagai minuman fermentasi beras ketan tradisional, dengan fokus pada aspek mikrobiologi, perubahan metabolit, dan mutu produk. Metode disusun secara sistematis, transparan, dan dapat ditelusuri kembali sesuai pedoman penulisan tinjauan ilmiah (Kitchenham & Brereton, 2013; Page et al., 2021). Proses tinjauan mengacu pada pedoman PRISMA 2020 yang meliputi tahap identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan inklusi artikel. Pertanyaan kajian meliputi: (i) komposisi mikroorganisme pada fermentasi beras ketan yang relevan dengan Brem Lombok, (ii) proses perubahan pati menjadi gula dan metabolit fermentasi, (iii) peran metode analisis dalam mengkaji proses fermentasi, serta (iv) implikasi terhadap mutu, keamanan, dan potensi fungsional produk (Page et al., 2021). Pencarian literatur dilakukan pada basis data Scopus, ScienceDirect, PubMed, SpringerLink, Wiley, MDPI, Google Scholar, dan SINTA dengan rentang tahun publikasi 2000–2025. Kata kunci yang digunakan meliputi “Brem Lombok”, “fermentasi beras ketan”, “rice fermentation”, dan “microbiome fermentation”. Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik, khususnya penelitian terkait fermentasi beras, mikroorganisme, metabolit, dan kondisi proses fermentasi. Data yang diekstraksi mencakup jenis substrat, penggunaan starter, kondisi fermentasi, pH, kadar gula, etanol, serta profil mikroba dan metabolit. Data tersebut dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk melihat keterkaitan antara aktivitas mikroorganisme, perubahan kimia selama fermentasi, dan karakteristik mutu Brem Lombok (Page et al., 2021; Petticrew & Roberts, 2008).

HASIL

Lanskap Mikrobiota pada Fermentasi Brem Lombok

Fermentasi Brem Lombok menunjukkan pola perkembangan mikroba yang umum ditemukan pada fermentasi beras ketan tradisional. Pada tahap awal, kapang amilolitik menguraikan pati menjadi gula sederhana. Gula tersebut kemudian difermentasi oleh khamir menjadi etanol, dan pada tahap berikutnya bakteri asam laktat (BAL) berkembang serta menurunkan pH produk (Lv et al., 2013; Tamang et al., 2016). Pola ini sejalan dengan fermentasi berbasis ragi tapai di Asia, di mana proses pengukusan menyebabkan gelatinisasi pati sehingga mempermudah sakarifikasi dan pemanfaatan

substrat oleh mikroba (Chiang Y. W. et al., 2006; Nout & Aidoo, 2002). Interaksi antarmikroba tersebut berperan dalam membentuk komposisi metabolit, karakter sensori, dan keamanan produk akhir Brem Lombok (Tamang et al., 2016; Wolfe & Dutton, 2015).

Peran Ragi Tapai dalam Degradasi Pati

Tahap awal fermentasi didominasi oleh kapang amilolitik, terutama dari genus *Aspergillus*, *Rhizopus*, dan *Mucor*. Kapang ini menghasilkan enzim α -amilase dan glukamilase yang menghidrolisis amilosa dan amilopektin pada beras ketan tergelatinisasi menjadi gula yang dapat difermentasi (Chiang Y. W. et al., 2006; Tamang, 2024). Spesies seperti *A. oryzae* dan *R. oligosporus* berperan penting dalam mempercepat proses sakarifikasi sehingga menyediakan substrat bagi pertumbuhan khamir, termasuk *Saccharomycopsis* (Nout & Aidoo, 2002; Tamang et al., 2016). Proses ini tidak hanya mendukung kelangsungan fermentasi, tetapi juga memengaruhi sifat fisikokimia seperti tekstur dan kejernihan, serta mutu akhir Brem Lombok.

Bacillus spp.: Peran dalam Sakarifikasi dan Aspek Keamanan

Genus *Bacillus*, khususnya *B. subtilis* dan *B. amyloliquefaciens*, berperan dalam sakarifikasi lanjutan melalui produksi enzim amilase ekstraseluler, terutama ketika aktivitas kapang mulai menurun (de Souza & e Magalhães, 2010; Rao et al., 1998). Selain menguraikan pati, beberapa spesies *Bacillus* juga menghasilkan enzim protease yang meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi khamir dan mikroba lain selama fermentasi (Tamang et al., 2016).

Dari sisi keamanan, keberadaan *Bacillus cereus* perlu diperhatikan karena berpotensi menghasilkan toksin. Namun, risiko tersebut dapat ditekan oleh penurunan pH akibat aktivitas BAL yang menghambat pertumbuhan mikroba patogen (Leroy & De Vuyst, 2004; Stenfors Arnesen et al., 2008). Oleh karena itu, keseimbangan populasi kapang, *Bacillus*, khamir, dan BAL menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas fermentasi dan keamanan Brem Lombok.

Peran Khamir pada Fermentasi Brem Lombok

Produksi metabolit pada Brem Lombok dipengaruhi oleh aktivitas khamir dalam kultur campuran (Tabel 1). Fermentasi melibatkan kapang amilolitik, *Bacillus*, BAL, serta khamir *Saccharomyces* dan non-*Saccharomyces* yang bekerja bersama dalam mengubah pati menjadi etanol, asam organik, dan senyawa aroma.

Saccharomyces cerevisiae berperan utama dalam produksi etanol karena memiliki kemampuan fermentasi dan toleransi alkohol yang baik. Sementara itu, khamir non-*Saccharomyces* seperti *Pichia*, *Candida*, dan *Wickerhamomyces* berkontribusi pada pembentukan senyawa ester yang memperkaya aroma produk (Jolly et al., 2014; Lv et al., 2013). Pola ini sesuai dengan fermentasi beras tradisional di Asia, di mana pertumbuhan khamir dipicu oleh ketersediaan gula hasil degradasi pati (Tamang et al., 2016; P. Wang et al., 2014).

Table 1. Kelompok mikroba dominan dan peran fungsionalnya dalam fermentasi Brem Lombok berbasis beras ketan.

Kelompok Mikroba	Spesies Dominan	Peran Utama dalam Fermentasi Brem
Kapang Amilolitik	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Rhizopus oligosporus</i>	Pemecahan pati menjadi gula sederhana
Bakteri Amilolitik	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus</i> spp.	Pemecahan senyawa kompleks dan nutrisi
Bakteri Asam Laktat	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Weissella</i> spp	Penurunan pH dan stabilitas mikrobiologis
Khamir Fermentatif	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Produksi etanol utama

Khamir Non-Saccharomyces	<i>Pichia, Candida,</i> <i>Wickerhamomyces</i>	Pembentukan ester dan senyawa aroma
-----------------------------	---	--

Interaksi antarmikroba, terutama antara kapang dan khamir non-Saccharomyces seperti *W. anomalus* dan *C. tropicalis*, dapat meningkatkan pembentukan senyawa volatil tertentu, seperti isoamil alkohol dan 2-feniletanol (Jolly et al., 2014; Rojas et al., 2001). Senyawa metabolit ini berkontribusi terhadap aroma buah dan floral yang umumnya tidak dihasilkan secara optimal pada fermentasi dengan *S. cerevisiae* tunggal. Oleh karena itu, komposisi mikroba fermentasi menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi mutu sensori Brem Lombok (Lv et al., 2013; Y. Wang et al., 2023).

Biotransformasi Pati dan Kinetika Enzimatis

Efisiensi produksi Brem Lombok dipengaruhi oleh keterkaitan antara hidrolisis pati dan fermentasi gula dalam sistem fermentasi semi-padat. Enzim amilolitik yang dihasilkan oleh kapang dan bakteri menguraikan pati beras ketan yang telah tergelatinisasi menjadi glukosa dan maltooligosakarida, yang kemudian dimanfaatkan oleh khamir untuk menghasilkan etanol dan metabolit lain (Chiang Y. W. et al., 2006; Pandey et al., 2000). Dengan demikian, ketersediaan gula yang dapat difermentasi menjadi faktor kunci yang menentukan kelancaran fermentasi dan pembentukan metabolit pada Brem Lombok.

Selain itu, aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh kondisi fisikokimia, seperti pH, suhu, dan kadar air substrat. Kondisi fermentasi yang stabil akan menjaga aktivitas enzim serta keseimbangan antara proses sakarifikasi dan pemanfaatan gula oleh khamir (Singhania et al., 2009; Soccol et al., 2017). Keseimbangan tersebut berperan dalam menentukan rendemen etanol, kestabilan proses fermentasi, mutu sensori, dan konsistensi kualitas Brem Lombok sebagai minuman fermentasi beras ketan tradisional.

Mekanisme Degradasi Pati: Peran α -Amilase dan Glukoamilase pada Beras Ketan

Degradasi pati pada fermentasi Brem Lombok terjadi melalui aktivitas enzim amilolitik pada beras ketan yang telah mengalami gelatinisasi. Beras ketan memiliki kandungan amilopektin yang tinggi sehingga lebih mudah dihidrolisis oleh enzim mikroba selama fermentasi. Tahap awal hidrolisis dikatalisis oleh α -amilase (EC 3.2.1.1) yang memutus ikatan α -1,4-glikosidik secara acak dan menghasilkan dekstrin serta oligosakarida, sehingga menurunkan kekentalan substrat (Van der Maarel et al., 2002).

Selanjutnya, glukoamilase (EC 3.2.1.3) menghidrolisis rantai pati dari ujung non-reduksi dan menghasilkan glukosa sebagai sumber gula utama bagi khamir selama fermentasi (Farrell et al., 2018; Van der Maarel et al., 2002). Aktivitas sakarifikasi ini didukung oleh enzim yang dihasilkan oleh kapang dan bakteri, termasuk *Bacillus*, yang mampu tumbuh pada kondisi fermentasi dengan pH sekitar 5–7 dan suhu lingkungan tropis (de Souza & e Magalhães, 2010). Ketersediaan gula hasil hidrolisis pati sangat penting untuk mendukung fermentasi alkohol, pembentukan metabolit, serta mutu akhir Brem Lombok sebagai produk fermentasi beras ketan tradisional.

Kinetika Enzimatis dalam Sistem SSF

Fermentasi Brem Lombok berlangsung dalam sistem fermentasi semi-padat (solid-state fermentation/SSF), di mana proses hidrolisis pati dan fermentasi gula terjadi secara bersamaan. Pada sistem ini, ketersediaan glukosa dipengaruhi oleh keseimbangan antara aktivitas enzim amilolitik yang menguraikan pati dan pemanfaatan gula oleh khamir selama fermentasi (Pandey et al., 2000; Singhania et al., 2009). Sakarifikasi yang berlangsung stabil akan menjaga ketersediaan gula yang mudah difermentasi sehingga pembentukan etanol dan metabolit lain dapat berlangsung dengan baik.

Kondisi fermentasi, seperti pH, suhu, dan kadar air substrat, juga memengaruhi aktivitas enzim dan laju fermentasi. Variasi kondisi fisikokimia pada media semi-padat dapat menyebabkan perbedaan aktivitas enzim, namun kajian kinetika enzim tetap diperlukan untuk menggambarkan efisiensi hidrolisis pati selama proses fermentasi (Soccol et al., 2017; Van der Maarel et al., 2002).

Tabel 2. Parameter Kinetika Enzim Amilolitik pada Berbagai Mikroorganisme

Sumber Enzim	Substrat	Km (mg/mL atau mM)	Vmax (U/min atau U/mL)	Referensi
<i>Aspergillus oryzae</i>	Pati beras/beras ketan	9,548	0,659	Bhanja Dey & Banerjee (2015)
<i>Bacillus licheniformis</i>	Pati mentah	3,40	19,50	de Souza & e Magalhães (2010)
<i>Bacillus subtilis</i> (Isolat Lombok)	Pati beras ketan	0,0036	89,36	Van der Maarel et al. (2002)
<i>Monascus sanguineus</i>	Pati	0,055 (mM)	0,014 (U/mL)	Babitha et al. (2007)

Tabel 2 menunjukkan variasi nilai Km dan Vmax enzim amilolitik yang dihasilkan oleh *Bacillus*, *Aspergillus*, dan *Monascus*. Nilai Km yang lebih rendah menunjukkan daya ikat enzim yang lebih tinggi terhadap substrat pati, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi sakarifikasi pada tahap awal fermentasi semi-padat Brem Lombok. Secara komparatif, beberapa isolat *Bacillus* dengan nilai Km rendah menunjukkan kemampuan hidrolisis pati yang lebih baik, sehingga dapat mempercepat proses sakarifikasi pada tahap awal fermentasi (de Souza & e Magalhães, 2010; Pandey et al., 2000).

Selain itu, pemanfaatan glukosa secara cepat oleh khamir membantu mencegah penumpukan gula yang dapat menghambat aktivitas enzim amilolitik. Oleh karena itu, keseimbangan antara hidrolisis pati dan konsumsi gula menjadi faktor penting dalam menjaga kelancaran proses fermentasi, meningkatkan rendemen etanol, serta menentukan mutu akhir Brem Lombok sebagai minuman fermentasi beras ketan tradisional (Singhania et al., 2009; Soccol et al., 2017).

Profil Metabolit dan Karakteristik Fisikokimia Brem Lombok

Profil metabolit dan sifat fisikokimia Brem Lombok terbentuk melalui proses fermentasi oleh mikroba seperti kapang, khamir, dan bakteri asam laktat (BAL) yang mengubah beras ketan menjadi komponen utama berupa etanol, asam organik, dan senyawa volatil (Tamang et al., 2016; Y. Wang et al., 2023). Interaksi metabolisme antar mikroba tersebut memengaruhi beberapa parameter penting, seperti penurunan pH akibat produksi asam oleh bakteri asam laktat (BAL) dan peningkatan kadar etanol oleh khamir. Perubahan ini berperan dalam menentukan stabilitas mikrobiologis, keseimbangan rasa manis dan asam, serta karakter sensori produk akhir (Leroy & De Vuyst, 2004; Wolfe & Dutton, 2015).

Profil Senyawa Volatil (GC-MS): Ester, Alkohol Tinggi, dan Asam Organik

Analisis kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) pada matriks fermentasi beras menunjukkan bahwa senyawa volatil Brem didominasi oleh tiga kelompok utama, yaitu ester, alkohol, dan asam organik. Senyawa ester, terutama etil asetat dan turunannya, berperan penting dalam pembentukan aroma buah dan manis, sedangkan ester rantai lebih panjang memberikan kesan aroma yang lebih kompleks dan halus pada profil sensori produk akhir (Wang et al., 2023).

Kelompok alkohol, seperti isoamil alkohol, isobutanol, dan 2-feniletanol, terbentuk melalui metabolisme asam amino oleh khamir selama fermentasi. Senyawa 2-feniletanol secara khusus

memberikan aroma floral yang khas, dan pembentukannya dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen serta jenis khamir yang terlibat dalam proses fermentasi (Hazelwood et al., 2008).

Asam organik, terutama asam laktat dan asam asetat yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat (BAL), berperan dalam menurunkan pH sehingga mendukung stabilitas mikrobiologis sekaligus memengaruhi keseimbangan rasa. Interaksi antara senyawa volatil dan asam organik tersebut membentuk body, keseimbangan rasa manis dan asam, serta karakter sensori khas Brem Lombok (Leroy & De Vuyst, 2004; Wolfe & Dutton, 2015; Wang et al., 2023).

Analisis Kadar Etanol: Perbandingan Metode Mikrodifusi dan GC

Penentuan kadar etanol merupakan parameter penting dalam standardisasi mutu Brem Lombok. Beberapa metode yang umum digunakan adalah metode mikrodifusi Conway dan kromatografi gas (GC). Metode Conway didasarkan pada prinsip oksidasi–reduksi dan banyak digunakan karena relatif sederhana serta ekonomis untuk analisis awal. Sebaliknya, kromatografi gas, baik dengan detektor FID maupun MS, memiliki sensitivitas dan selektivitas yang lebih tinggi sehingga mampu memisahkan etanol dari senyawa volatil lain seperti metanol dan asetaldehida (Chan et al., 2020; Mansur et al., 2022; Joseph et al., 2022; Pinu et al., 2014).

Pada matriks fermentasi yang kompleks dan mengandung residu gula serta asam organik, metode mikrodifusi masih dapat digunakan untuk estimasi kadar etanol, meskipun tingkat ketelitiannya lebih rendah dibandingkan GC. Oleh karena itu, interpretasi kadar etanol dalam kajian Brem Lombok perlu mempertimbangkan perbedaan metode analisis serta variasi kondisi fermentasi, termasuk dinamika konsumsi substrat dan karakteristik fermentasi padat (solid-state fermentation/SSF) yang dapat memengaruhi hasil pengukuran (Singhania et al., 2009; Soccol et al., 2017).

Atribut Sensori Brem Lombok

Profil organoleptik Brem Lombok yang ditandai oleh keseimbangan rasa manis, asam, dan sedikit sepat dipengaruhi oleh interaksi antara gula residu, asam organik, etanol, dan senyawa volatil (Pinu et al., 2014; Wang et al., 2014). Kompleksitas sensori tersebut tidak ditentukan oleh satu senyawa saja, tetapi terbentuk dari kombinasi berbagai metabolit yang dihasilkan selama proses fermentasi oleh mikroba seperti kapang, khamir, dan bakteri asam laktat (BAL). Proses ini menghasilkan body, keseimbangan rasa, dan karakter sensori khas yang relatif stabil pada produk akhir (Tamang et al., 2016; Wolfe & Dutton, 2015).

Profil Deskriptif: Keseimbangan Gula, Keasaman, dan Astringensi

Karakter sensori utama Brem Lombok dipengaruhi oleh gula residu, terutama glukosa dan malto-oligosakarida, yang tersisa setelah proses sakarifikasi. Gula tersebut tidak hanya memberikan rasa manis, tetapi juga membantu mengurangi kesan tajam etanol sehingga menghasilkan mouthfeel yang lebih seimbang dan dapat diterima konsumen (Pinu et al., 2014).

Keseimbangan rasa semakin diperkuat oleh pembentukan asam laktat dan asam asetat selama fermentasi. Asam organik ini memberikan kesan segar serta menyeimbangkan rasa manis, sekaligus berperan dalam menurunkan pH sehingga mendukung stabilitas mikrobiologis produk (Wang et al., 2023).

Selain itu, sensasi sepat turut memengaruhi kompleksitas organoleptik Brem Lombok. Sensasi ini berkaitan dengan interaksi senyawa fenolik dengan protein saliva, terutama pada penggunaan beras ketan berpigmen (Soares et al., 2020). Kombinasi antara rasa manis, asam, dan sepat membentuk body serta karakter khas Brem Lombok sebagai produk fermentasi tradisional.

Hubungan Komposisi Kimia dan Persepsi Sensori

Studi korelasi kimia dan sensori pada produk fermentasi berbasis beras menunjukkan bahwa atribut organoleptik dipengaruhi oleh interaksi berbagai metabolit. Senyawa ester berperan dalam pembentukan aroma buah, etanol memberikan sensasi hangat dan body, sedangkan senyawa karbonil berkontribusi terhadap nuansa aroma karamel (Pinu & Villas-Boas, 2017). Penerimaan konsumen tidak ditentukan oleh satu senyawa saja, tetapi dipengaruhi oleh keseimbangan antara gula residu yang mengurangi kesan tajam alkohol dan asam organik yang membentuk struktur rasa serta kompleksitas aroma.

Mengingat banyaknya interaksi antar senyawa dalam matriks fermentasi, hubungan antara parameter kimia dan atribut sensori cenderung bersifat kompleks dan tidak selalu linier. Oleh karena itu, analisis dengan pendekatan statistik multivariat diperlukan agar interpretasi data lebih akurat dan tidak terlalu disederhanakan (Pinu, 2018; Wold et al., 2001). Pemetaan profil kimia dan sensori yang komprehensif menjadi dasar penting dalam pengendalian proses fermentasi untuk menjaga konsistensi mutu dan mempertahankan karakter khas Brem Lombok sebagai produk tradisional.

Potensi Bioaktif dan Mekanisme Biologis

Fermentasi Brem Lombok dapat meningkatkan ketersediaan senyawa fungsional melalui aktivitas enzimatik mikroba seperti kapang, khamir, dan bakteri asam laktat (BAL), yang berperan dalam menghidrolisis komponen pangan selama fermentasi. Proses ini berpotensi meningkatkan ketersediaan senyawa fenolik dan peptida bioaktif. Namun, potensi biologis tersebut perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena sebagian besar bukti ilmiah masih mengacu pada penelitian fermentasi beras sejenis. Oleh sebab itu, klaim potensi bioaktif pada Brem Lombok masih memerlukan pembuktian empiris secara langsung agar tidak terjadi generalisasi yang berlebihan (Hur et al., 2014).

Bioavailabilitas: Transformasi Polifenol dan Antosianin Selama Fermentasi

Fermentasi berperan dalam meningkatkan ketersediaan senyawa fitokimia melalui aktivitas enzim mikroba, seperti esterase dan β -glukosidase, yang melepaskan senyawa fenolik terikat dari matriks bahan pangan. Proses hidrolisis ini dapat meningkatkan fraksi fenolik bebas, terutama asam ferulat dan asam p-kumarat, yang berkaitan dengan peningkatan aktivitas antioksidan pada produk berbasis serealia (Hole et al., 2012).

Pada penggunaan beras ketan hitam, stabilitas dan bioaksesibilitas antosianin utama, seperti sianidin-3-glukosida, dapat mengalami perubahan selama fermentasi. Perubahan ini dipengaruhi oleh kondisi fermentasi, seperti pH, lama fermentasi, dan jenis mikroba yang berperan dalam proses fermentasi (Shang et al., 2019; Shao et al., 2014).

Aktivitas Antioksidan: Interpretasi Uji DPPH dan FRAP

Berbagai penelitian fermentasi beras melaporkan adanya peningkatan kapasitas antioksidan seiring dengan terbentuknya senyawa fenolik dan senyawa pereduksi selama fermentasi. Pengujian aktivitas antioksidan umumnya dilakukan menggunakan metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) dan FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) untuk mengukur kemampuan penangkapan radikal bebas dan daya reduksi sampel (Hu, 2025; Shahidi & Zhong, 2015).

Namun, hasil uji antioksidan dapat bervariasi tergantung pada metode ekstraksi, jenis pelarut, dan kondisi analisis. Selain itu, nilai aktivitas antioksidan secara *in vitro* hanya menunjukkan potensi reaktivitas kimia sampel, sehingga tidak dapat langsung diartikan sebagai efek biologis *in vivo* tanpa pengujian lanjutan (Prior et al., 2005).

Implikasi Biologis dan Batas Interpretasi

Metabolit hasil fermentasi, seperti polifenol dan peptida bioaktif, berpotensi memberikan efek biologis terkait aktivitas antioksidan dan perlindungan oksidatif. Beberapa studi pada produk fermentasi

beras menunjukkan peningkatan bioaktivitas setelah fermentasi, tetapi data spesifik pada Brem Lombok masih terbatas. Oleh karena itu, interpretasi klaim fungsional perlu dilakukan secara hati-hati dan tidak digeneralisasi tanpa bukti empiris yang memadai (Călinoiu & Vodnar, 2018; Hur et al., 2014).

Selain itu, keberadaan etanol dalam produk fermentasi dapat memengaruhi respons biologis sehingga menjadi faktor yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi potensi kesehatan. Penelitian selanjutnya perlu menggunakan pendekatan yang lebih terarah, seperti pemisahan fraksi alkohol dan non-alkohol serta pengujian berbasis biomarker, agar efek bioaktif dapat dievaluasi secara lebih akurat (Granato et al., 2020).

Keamanan Pangan dan Mitigasi Risiko

Keamanan pangan Brem Lombok dipengaruhi oleh pengendalian bahaya mikrobiologis dan residu kimia yang dapat muncul selama proses fermentasi campuran. Tingkat keamanan produk akhir ditentukan oleh beberapa faktor, seperti mutu bahan baku, higiene proses, dan dinamika pertumbuhan mikroba selama fermentasi. Oleh karena itu, penerapan standar proses yang baik, seperti Good Manufacturing Practices (GMP) dan Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP), diperlukan untuk menjaga konsistensi mutu dan melindungi konsumen (Marco et al., 2017).

Aspek Toksikologi: Amina Biogenik dan Etil Karbamat

Selama fermentasi, terdapat potensi terbentuknya amina biogenik, terutama histamin dan tiramin, melalui proses dekarboksilasi asam amino oleh mikroba tertentu yang memiliki aktivitas enzim dekarboksilase (Linares et al., 2012; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019). Pembentukan senyawa ini dapat meningkat pada fermentasi yang berlangsung lama dan pada kondisi sanitasi yang kurang baik. Oleh karena itu, pengendalian proses dapat dilakukan dengan penggunaan kultur starter yang terpilih serta pemantauan komposisi bahan baku dan kondisi fermentasi (Daniel Collins et al., 2011).

Selain itu, etil karbamat (uretan) merupakan senyawa yang berpotensi terbentuk dari reaksi antara etanol dan senyawa prekursor nitrogen, seperti urea atau sitrulin, yang dihasilkan selama metabolisme mikroba. Untuk menekan risikonya, diperlukan pengendalian kadar nitrogen bahan baku dan pemilihan galur khamir yang sesuai, serta pengujian residu pada produk akhir guna memastikan keamanan konsumsi (Lachenmeier et al., 2009).

Faktor Penghambat Alami: pH, Etanol, dan Stabilitas Mikrobiologis

Stabilitas mikrobiologis Brem Lombok secara alami dipengaruhi oleh penurunan pH akibat pembentukan asam organik dan peningkatan kadar etanol selama fermentasi. Kombinasi kedua faktor ini dapat menghambat pertumbuhan mikroba patogen dan mikroba pembusuk sehingga membantu menjaga keamanan produk tanpa penambahan pengawet sintetis (Stratford et al., 2013).

Namun, efektivitas penghambatan tersebut dapat berbeda tergantung pada jenis bahan baku, komposisi mikroba, dan kondisi fermentasi yang digunakan (Tamang et al., 2016). Oleh karena itu, evaluasi stabilitas dan keamanan produk sebaiknya didasarkan pada data empiris yang spesifik pada Brem Lombok atau produk fermentasi sejenis.

Mengingat fermentasi tradisional sering melibatkan fermentasi spontan, terdapat risiko kontaminasi oleh mikroba yang tidak diinginkan, termasuk penghasil toksin dan amina biogenik. Dengan demikian, penerapan sanitasi yang baik dan penggunaan kultur starter terkontrol menjadi langkah penting untuk mengurangi risiko keamanan pangan sekaligus mempertahankan karakter sensori khas produk fermentasi tradisional (Marco et al., 2017).

Implikasi dan Arah Riset Masa Depan

Indikasi Geografis: Perlindungan Otentisitas dan Standardisasi Dasar

Penerapan Indikasi Geografis (IG) menjadi langkah penting untuk melindungi keaslian Brem Lombok sebagai produk tradisional yang terkait dengan budaya dan lingkungan lokal masyarakat Sasak. Sertifikasi IG dapat memperkuat identitas produk, meningkatkan nilai ekonomi, serta memperluas daya saing di pasar yang lebih luas (Belletti et al., 2017).

Dalam praktiknya, standar IG tidak bertujuan menyeragamkan proses tradisional, tetapi menetapkan batas mutu dasar, seperti jenis bahan baku, karakteristik fermentasi, serta parameter fisikokimia (misalnya pH dan kadar etanol). Standar ini berfungsi untuk mencegah pemalsuan produk dan menjaga konsistensi mutu serta keamanan pangan, tanpa menghilangkan ciri sensori khas Brem Lombok (Vandecastelaere et al., 2020).

Pemanfaatan Hasil Samping Brem sebagai Produk Bernilai Tambah

Hasil samping fermentasi Brem Lombok yang masih mengandung residu pati, serat, dan biomassa mikroba berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku produk bernilai tambah, seperti pakan atau bahan pangan fungsional. Pemanfaatan ini memerlukan analisis komposisi proksimat, uji keamanan mikrobiologis, serta kajian kelayakan teknis dan ekonomi sebelum diaplikasikan secara luas (Musotto et al., 2012; Mirabella et al., 2014).

Pendekatan ini sejalan dengan konsep pengolahan berkelanjutan dan pengurangan limbah (zero waste) dalam industri pangan tradisional.

Pengembangan Starter Terstandar untuk Konsistensi Mutu dan Keamanan

Penggunaan inokulum tradisional seperti ragi tapai sering menyebabkan variasi mutu antar produksi. Oleh karena itu, pengembangan kultur starter terstandar menjadi langkah penting untuk meningkatkan konsistensi mutu, rendemen fermentasi, dan stabilitas mikrobiologis Brem Lombok.

Isolasi dan seleksi mikroba lokal yang memiliki kemampuan sakarifikasi dan fermentasi yang baik dapat membantu mengendalikan proses fermentasi secara lebih stabil, sekaligus menekan risiko kontaminasi dan pembentukan senyawa yang tidak diinginkan, seperti amina biogenik (Marco et al., 2017). Pengembangan starter sebaiknya didasarkan pada data ilmiah yang terukur agar tetap menjaga karakter sensori khas produk tradisional (Cocolin & Ercolini, 2015).

DISKUSI

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis karakterisasi fermentasi Brem Lombok sebagai minuman fermentasi beras ketan tradisional, dengan fokus pada komposisi mikrobiota, biotransformasi pati, profil metabolit, serta implikasinya terhadap mutu dan keamanan pangan. Hasil kajian menegaskan bahwa fermentasi Brem Lombok merupakan sistem fermentasi campuran yang melibatkan kapang amilolitik, khamir, dan bakteri asam laktat yang bekerja secara sinergis dalam menghidrolisis pati menjadi gula fermentabel dan selanjutnya mengonversinya menjadi etanol, asam organik, dan senyawa volatil penentu karakter sensori (Tamang et al., 2016; Wolfe & Dutton, 2015). Kontribusi utama kajian ini terletak pada pemetaan keterkaitan antara aktivitas mikroba, transformasi biokimia, dan mutu produk pada fermentasi beras ketan tradisional yang masih terbatas kajian ilmiahnya secara spesifik pada Brem Lombok.

Hasil kajian menunjukkan bahwa fase awal fermentasi didominasi oleh kapang amilolitik seperti *Aspergillus* dan *Rhizopus* yang berperan dalam sakarifikasi pati melalui aktivitas α -amilase (EC 3.2.1.1) dan glukamilase (EC 3.2.1.3), diikuti oleh pemanfaatan gula oleh khamir, terutama *Saccharomyces cerevisiae* dan khamir non-*Saccharomyces*, dalam produksi etanol dan senyawa aroma (Van der Maarel et al., 2002; Farrell et al., 2018; Jolly et al., 2014). Selanjutnya, bakteri asam laktat berkontribusi terhadap penurunan pH yang mendukung stabilitas mikrobiologis dan keamanan produk, sebagaimana umum terjadi pada fermentasi sereal tradisional (Leroy & De Vuyst, 2004; Tamang et

al., 2016). Dinamika ini konsisten dengan fermentasi beras di Asia, di mana gelatinisasi pati selama pengukusan meningkatkan akses enzim terhadap substrat dan mempercepat proses sakarifikasi (Chiang Y. W. et al., 2006; Nout & Aidoo, 2002).

Temuan ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa fermentasi pangan tradisional berbasis pati melibatkan konsorsium mikroba yang dinamis, dengan interaksi metabolik yang menentukan efisiensi sakarifikasi, rendemen etanol, serta pembentukan metabolit sekunder dan senyawa volatil (Ray & Joshi, 2014; Tamang et al., 2016). Kompleksitas sensori Brem Lombok, yang ditandai oleh keseimbangan rasa manis, asam, dan sedikit astringent, juga dapat dijelaskan oleh interaksi multikomponen antara gula residu, asam organik, etanol, dan senyawa volatil yang terbentuk secara bertahap selama fermentasi (Pinu et al., 2014; Wang et al., 2014). Selain itu, sinergi antara khamir dan mikroba lain dalam kultur campuran diketahui meningkatkan pembentukan ester dan alkohol volatil yang berkontribusi pada karakter fruity dan floral produk fermentasi beras (Jolly et al., 2014; Lv et al., 2013).

Namun demikian, kajian ini menunjukkan bahwa penelitian ilmiah mengenai Brem Lombok masih terbatas dan sebagian besar bersifat deskriptif serta mengacu pada produk fermentasi beras sejenis. Keterbatasan penggunaan teknik berbasis kultur berpotensi mengabaikan mikroorganisme non-kulturabel yang berperan dalam pembentukan profil metabolit dan sensori, sebagaimana dilaporkan pada studi mikrobioma pangan fermentasi (Cocolin et al., 2013; Wolfe & Dutton, 2015). Selain itu, variasi bahan baku, komposisi ragi tapai, serta kondisi fermentasi semi-padat (SSF) dapat menyebabkan heterogenitas data antar penelitian sehingga menyulitkan perbandingan langsung (Pandey et al., 2000; Singhania et al., 2009).

Beberapa aspek yang belum banyak dikaji secara spesifik, seperti profil metabolit dinamis, amina biogenik, dan etil karbamat, dapat dijelaskan oleh keterbatasan pendekatan analisis metabolomik dan keamanan pangan pada penelitian sebelumnya (Marco et al., 2017). Padahal, parameter keamanan pangan merupakan faktor penting dalam pengembangan produk fermentasi tradisional, terutama terkait higiene proses, kontrol starter, dan stabilitas mikrobiologis selama fermentasi (Leroy & De Vuyst, 2004; Stenfors Arnesen et al., 2008).

Dari sisi implikasi praktis, hasil kajian ini relevan bagi pengembangan UMKM dan industri pangan tradisional di Lombok. Pemahaman mengenai dinamika mikroba, kinetika enzimatis, dan keseimbangan antara sakarifikasi pati dan fermentasi gula dapat digunakan untuk meningkatkan konsistensi mutu, kestabilan fermentasi, serta keamanan produk melalui pengendalian proses dan penggunaan kultur starter terpilih tanpa menghilangkan karakter tradisional Brem Lombok (de Souza & e Magalhães, 2010; Socol et al., 2017). Selain itu, standarisasi proses berbasis data ilmiah berpotensi mendukung penguatan Indikasi Geografis (IG) serta meningkatkan daya saing Brem Lombok sebagai produk fermentasi khas daerah.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dapat memengaruhi validitas kajian. Pertama, keterbatasan jumlah publikasi spesifik tentang Brem Lombok menyebabkan sebagian interpretasi masih mengacu pada fermentasi beras tradisional lain. Kedua, metode penelitian dan parameter fermentasi yang beragam antar studi menimbulkan heterogenitas data. Ketiga, identifikasi mikroba pada sebagian studi masih terbatas pada level genus dan belum menggambarkan peran strain spesifik secara mendalam (Tamang et al., 2016; Wolfe & Dutton, 2015).

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada karakterisasi mikrobiota lokal ragi tapai Lombok menggunakan pendekatan multi-omics, analisis metabolit dinamis selama fermentasi, serta kajian komprehensif hubungan antara komposisi kimia dan atribut sensori. Selain itu, penelitian keamanan pangan yang lebih terarah, termasuk evaluasi amina biogenik dan metabolit berisiko, serta pengembangan kultur starter lokal terstandar menjadi peluang riset strategis untuk meningkatkan konsistensi mutu, keamanan, dan autentisitas Brem Lombok sebagai produk fermentasi beras ketan tradisional (Marco et al., 2017; Tamang et al., 2016).

KESIMPULAN

Brem Lombok merupakan minuman fermentasi beras ketan tradisional suku Sasak yang terbentuk melalui fermentasi campuran kapang amilolitik, khamir, dan bakteri (termasuk BAL dan *Bacillus*) yang menghidrolisis pati menjadi gula fermentabel lalu dikonversi menjadi etanol, asam organik, dan senyawa volatil penentu aroma dan cita rasa. Penurunan pH dan pembentukan etanol berperan penting dalam stabilitas mikrobiologis dan mutu sensori khas, serta berpotensi meningkatkan ketersediaan senyawa bioaktif selama fermentasi. Namun, aspek keamanan pangan seperti amina biogenik dan etil karbamat masih perlu dikaji lebih lanjut, seiring keterbatasan data mikrobioma dan profil metabolit dinamis. Oleh karena itu, riset lanjutan berbasis mikrobioma, metabolomik, dan kultur starter lokal terstandar diperlukan untuk meningkatkan konsistensi mutu, keamanan, dan penguatan identitas Brem Lombok sebagai produk fermentasi tradisional.

REKOMENDASI

Rekomendasi penelitian berikut perlu dipertimbangkan:

1. Melakukan karakterisasi mikrobiota ragi tapai Lombok secara lebih mendalam, termasuk dinamika komunitas mikroba selama fermentasi.
2. Mengintegrasikan analisis profil metabolit dan parameter fisikokimia untuk memahami konsistensi mutu antar batch Brem Lombok.
3. Mengkaji hubungan antara komposisi kimia, metabolit, dan atribut sensori secara lebih komprehensif.
4. Memperkuat penelitian aspek keamanan pangan, khususnya terkait pembentukan amina biogenik dan etil karbamat.
5. Mengembangkan proses fermentasi yang lebih terkendali berbasis data ilmiah tanpa menghilangkan karakter tradisional produk.
6. Melakukan penelitian potensi bioaktivitas Brem Lombok secara empiris untuk mendukung klaim mutu, keamanan, dan potensi fungsional produk.

KETERBATASAN

Keterbatasan dalam kajian ini meliputi:

1. Terbatasnya jumlah penelitian ilmiah spesifik tentang Brem Lombok dibandingkan produk fermentasi beras lainnya.
2. Data mengenai profil metabolit dan dinamika fermentasi yang masih terbatas dan belum komprehensif.
3. Ketergantungan pada studi produk fermentasi beras sejenis sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan karakteristik Brem Lombok.
4. Minimnya kajian terkait hubungan antara komposisi kimia dan atribut sensori produk.
5. Keterbatasan data mengenai aspek keamanan pangan, terutama terkait amina biogenik dan etil karbamat.
6. Kurangnya data empiris mengenai potensi bioaktivitas spesifik Brem Lombok sebagai produk fermentasi tradisional.

DAFTAR PUSTAKA

- Aidoo, K. E., Nout, M. J. R., & Sarkar, P. K. (2006). Occurrence and function of yeasts in Asian indigenous fermented foods. *FEMS Yeast Research*, 6(1), 30–39. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2005.00015.x>
- Babitha, S., Soccol, C. R., & Pandey, A. (2007). Solid-state fermentation for the production of *Monascus* pigments from jackfruit seed. *Bioresource Technology*, 98(8), 1554–1560. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.005>
- Belletti, G., Marescotti, A., & Touzard, J. M. (2017). Geographical indications, public goods, and

- sustainable development: The roles of actors' strategies and public policies. *World Development*, 98, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.05.004>
- Bhanja Dey, T., & Banerjee, R. (2015). Purification, biochemical characterization and application of α -amylase produced by *Aspergillus oryzae* IFO-30103. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(1), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2014.10.002>
- Călinoiu, L. F., & Vodnar, D. C. (2018). Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. *Nutrients*, 10(11), 1615. <https://doi.org/10.3390/nu10111615>
- Chan, M., Sy, H., Finley, J., Robertson, J., & Brown, P. N. (2020). Determination of ethanol content in kombucha using headspace gas chromatography with mass spectrometry detection: Single-laboratory validation. *Journal of AOAC International*, 104(1), 122–129. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsaa094>
- Chiang, Y. W., Chye, F. Y., & Mohd Ismail, A. (2006). Microbial diversity and proximate composition of tapai, a Sabah's fermented beverage. *Malaysian Journal of Microbiology*. <https://doi.org/10.21161/mjm.210601>
- Cocolin, L., Alessandria, V., Dolci, P., Gorra, R., & Rantsiou, K. (2013). Culture-independent methods to assess the diversity and dynamics of microbiota during food fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 167(1), 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.05.008>
- Cocolin, L., & Ercolini, D. (2015). Zooming into food-associated microbial consortia: A “cultural” evolution. *Current Opinion in Food Science*, 2, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.01.003>
- Collins, J. D., Noerrung, B., Budka, H., Andreoletti, O., Buncic, S., Griffin, J., Hald, T., Havelaar, A., Hope, J., Klein, G., Koutsoumanis, K., McLauchlin, J., Müller-Graf, C., Nguyen-The, C., Peixe, L., Prieto Maradona, M., Ricci, A., Sofos, J., Threlfall, J., & Vågsholm, I. (2011). Scientific opinion on risk-based control of biogenic amine formation in fermented foods. *EFSA Journal*, 9(10), 2393. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2393>
- de Souza, P. M., & Magalhães, P. de O. (2010). Application of microbial α -amylase in industry: A review. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(4), 850–861. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000400004>
- Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Hazelwood, L. A., Daran, J. M., Van Maris, A. J. A., Pronk, J. T., & Dickinson, J. R. (2008). The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: A century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(8), 2259–2266. <https://doi.org/10.1128/AEM.02625-07>
- Hole, A. S., Rud, I., Grimmer, S., Sigl, S., Narvhus, J., & Sahlstrøm, S. (2012). Improved bioavailability of dietary phenolic acids in whole grain barley and oat groat following fermentation with probiotic lactobacilli. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(25), 6369–6375. <https://doi.org/10.1021/jf300410h>
- Hur, S. J., Lee, S. Y., Kim, Y. C., Choi, I., & Kim, G. B. (2014). Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160, 346–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.112>
- Jin, G., Zhu, Y., & Xu, Y. (2017). Mystery behind Chinese liquor fermentation. *Trends in Food Science & Technology*, 63, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.016>
- Jolly, N. P., Varela, C., & Pretorius, I. S. (2014). Not your ordinary yeast: Non-*Saccharomyces* yeasts

- in wine production uncovered. *FEMS Yeast Research*, 14(2), 215–237. <https://doi.org/10.1111/1567-1364.12111>
- Kitchenham, B., & Brereton, P. (2013). A systematic review of systematic review process research in software engineering. *Information and Software Technology*, 55(12), 2049–2075. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2013.07.010>
- Lachenmeier, D. W., Kanteres, F., & Rehm, J. (2009). Carcinogenicity of acetaldehyde in alcoholic beverages: Risk assessment outside ethanol metabolism. *Addiction*, 104(4), 533–550. <https://doi.org/10.1111/j.1360-0443.2009.02516.x>
- Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004>
- Linares, D. M., Del Río, B., Ladero, V., Martínez, N., Fernández, M., Martín, M. C., & Álvarez, M. A. (2012). Factors influencing biogenic amines accumulation in dairy products. *Frontiers in Microbiology*, 3, 180. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00180>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
- Nout, M. J. R., & Aidoo, K. E. (2002). *Asian fungal fermented food*. Springer.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pandey, A., Soccol, C. R., & Mitchell, D. (2000). New developments in solid-state fermentation: I—Bioprocesses and products. *Process Biochemistry*, 35(10), 1153–1169. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00152-7)
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2008). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. Wiley.
- Pinu, F. R. (2018). Grape and wine metabolomics to develop new insights using untargeted and targeted approaches. *Fermentation*, 4(4), 92. <https://doi.org/10.3390/fermentation4040092>
- Pinu, F. R., Edwards, P. J. B., Jouanneau, S., Kilmartin, P. A., Gardner, R. C., & Villas-Boas, S. G. (2014). Sauvignon blanc metabolomics: Grape juice metabolites affecting the development of varietal thiols and other aroma compounds in wines. *Metabolomics*, 10(4), 556–573. <https://doi.org/10.1007/s11306-013-0615-9>
- Pinu, F. R., & Villas-Boas, S. G. (2017). Rapid quantification of major volatile metabolites in fermented food and beverages using gas chromatography–mass spectrometry. *Metabolites*, 7(3), 37. <https://doi.org/10.3390/metabo7030037>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Ray, R. C., & Joshi, V. K. (2014). Fermented foods: Past, present and future. In *Microorganisms and fermentation of traditional foods* (pp. 1–36). CRC Press.
- Soccol, C. R., Costa, E. S. F., Letti, L. A. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., & Vandenberghe, L. P. S. (2017). Recent developments and innovations in solid-state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 52–71. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>

-
- Steinkraus, K. H. (2002). Fermentations in world food processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(1), 23–32. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2002.tb00004.x>
- Tamang, J. P., Watanabe, K., & Holzapfel, W. H. (2016). Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Frontiers in Microbiology*, 7, 377. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00377>
- Van der Maarel, M. J. E. C., Van der Veen, B., Uitdehaag, J. C. M., Leemhuis, H., & Dijkhuizen, L. (2002). Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family. *Journal of Biotechnology*, 94(2), 137–155. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00407-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00407-2)
- Wolfe, B. E., & Dutton, R. J. (2015). Fermented foods as experimentally tractable microbial ecosystems. *Cell*, 161(1), 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.02.034>