

## Asap Cair Sebagai Pengawet Alami Pangan: Tinjauan Literatur Mengenai Aktivitas Antimikroba, Keamanan, Dan Implikasi Kesehatan

Nurmala Sari<sup>1\*</sup>, Suprah Hidayat Sihotang<sup>2</sup>, Fanny Rizky Sembiring<sup>3</sup>, Mariany Razali<sup>4</sup>, Rika Silvany<sup>5</sup>, Privil Mistriyanto Tambunan<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Ilmu Biomedis, Farmasi dan Kesehatan, Universitas Tut Nyak Dhien, Indonesia

<sup>5,6</sup> Kimia, Teknik Kimia, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Indonesia

### Open Access Freely Available Online

Dikirim: 14 Juni 2026

Direvisi: 30 Juni 2026

Diterima: 30 Juni 2026

### \*Penulis Korespondensi:

E-mail:

[nurmalasari@utnd.ac.id](mailto:nurmalasari@utnd.ac.id)

### ABSTRAK

Kontaminasi mikroorganisme patogen pada produk pangan mendorong meningkatnya minat terhadap pengawet alami berbasis biomassa, salah satunya asap cair (*liquid smoke*) yang dihasilkan melalui pirolisis bahan lignoselulosa seperti tempurung kelapa, sekam padi, dan serbuk gergaji kayu. Kajian ini bertujuan menganalisis efektivitas antimikroba, profil keamanan, serta implikasi kesehatan penggunaan asap cair sebagai pengganti pengawet sintetis pada produk pangan. Pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) diterapkan dengan menelusuri basis data PubMed, Scopus, *Web of Science*, dan *Google Scholar* menggunakan protokol PRISMA 2020, mencakup publikasi tahun 2021–2025, sehingga diperoleh 10 artikel yang memenuhi seluruh kriteria kelayakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan fenol, asam organik, dan karbonil dalam asap cair bekerja secara sinergis menghambat pertumbuhan bakteri maupun jamur patogen pangan. Kelompok bakteri *Gram-positive* seperti *Staphylococcus aureus* dan *Listeria monocytogenes* terbukti lebih rentan dibandingkan *Gram-negative* akibat perbedaan arsitektur dinding sel. Kapasitas antioksidan turut memperkuat peran asap cair sebagai pengawet alami. Meskipun demikian, keberadaan senyawa *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) serta belum terpenuhinya sejumlah standar mutu pada produk tertentu mengindikasikan bahwa optimasi konsentrasi aplikasi berbasis kategori produk masih sangat diperlukan. Kajian ini menegaskan urgensi penyusunan regulasi batas penggunaan asap cair yang spesifik per kategori produk pangan guna menjamin keseimbangan antara efektivitas preservasi dan perlindungan kesehatan konsumen.

**Kata kunci:** asap cair, aktivitas antimikroba, pengawet alami, keamanan pangan, implikasi kesehatan

### ABSTRACT

*Pathogenic microorganism contamination in food products has driven growing interest in biomass-based natural preservatives, one of which is liquid smoke produced through pyrolysis of lignocellulosic materials such as coconut shell, rice husk, and wood sawdust. This study aimed to analyze the antimicrobial effectiveness, safety profile, and health implications of liquid smoke as a substitute for synthetic preservatives in food products. A Systematic Literature Review (SLR) approach was applied by searching PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases using the PRISMA 2020 protocol, covering publications from 2021 to 2025, yielding 10 articles that met all eligibility criteria. The analysis revealed that phenolic compounds, organic acids, and carbonyl constituents in liquid smoke act synergistically to inhibit the growth of both bacterial and fungal food pathogens. Gram-positive bacteria such as Staphylococcus aureus and Listeria monocytogenes proved more susceptible than Gram-negative counterparts due to differences in cell wall architecture. The antioxidant capacity further strengthened the role of liquid smoke as a natural preservative. Nevertheless, the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and the failure to meet certain quality standards in specific products indicate that concentration optimization based on product category remains critically necessary. This review underscores the urgency of establishing specific regulatory limits for liquid smoke use per food product category to ensure a balance between preservation effectiveness and consumer health protection.*

**Keywords:** *liquid smoke, antimicrobial activity, natural preservative, food safety, health implications*

## PENDAHULUAN

Kontaminasi mikroorganisme patogen pada produk pangan menjadi salah satu tantangan serius dalam industri pangan global. Penggunaan bahan pengawet sintetis yang berlebihan telah menimbulkan kekhawatiran tersendiri bagi konsumen maupun regulator terkait dampak kesehatan jangka panjang. Sebagai respons terhadap kondisi tersebut, ketertarikan terhadap pengawet alami berbasis biomassa terus mengalami peningkatan signifikan. Salah satu kandidat yang menjanjikan adalah asap cair (*liquid smoke*), produk hasil kondensasi asap yang diperoleh melalui proses pirolisis bahan lignoselulosa seperti tempurung kelapa, sekam padi, dan kayu keras. Surboyo et al. (2024) menegaskan bahwa asap cair mengandung senyawa aktif seperti fenol, furfural, dan keton dengan karakteristik asam, serta telah dimanfaatkan secara luas sebagai pengawet pangan alami di berbagai belahan dunia dan dilaporkan aman bagi manusia.

Efektivitas asap cair sebagai agen antimikroba bergantung pada interaksi sinergis antara komponen fenol dan karbonil yang secara bersamaan merusak membran sel bakteri dan mengganggu mekanisme penyerapan nutrisi. Deliephan et al. (2023) menyatakan bahwa "*liquid smoke is a naturally derived flavor component and preservative with known antimicrobial properties*," termasuk potensi antijamur terhadap fungi toksigenik seperti *Aspergillus flavus* yang mampu memproduksi mikotoksin berbahaya pada pangan manusia. Temuan ini memperluas cakupan peran asap cair yang tidak hanya terbatas pada penghambatan bakteri, tetapi juga mencakup pengendalian kontaminasi fungi pada berbagai produk pangan semi-lembap.

Di samping aktivitas antimikroba, asap cair juga memperlihatkan kapasitas antioksidan yang relevan dalam perpanjangan umur simpan pangan. Brustolin et al. (2024) melaporkan bahwa asap cair menunjukkan aktivitas antioksidan dengan nilai *inhibitory concentration* (IC<sub>50</sub>) sebesar 0,19 mg/mL, suatu konsentrasi yang cukup rendah untuk menghambat oksidasi lemak secara efektif pada produk olahan daging. Selain itu, metode aplikasi asap cair yang fleksibel meliputi pencelupan, penyemprotan, maupun pencampuran langsung memberikan kemudahan adopsi di skala

industri pangan tanpa memerlukan perubahan proses produksi secara mendasar.

Meskipun memiliki berbagai keunggulan fungsional, penggunaan asap cair dalam pangan tidak terlepas dari isu keamanan, terutama terkait keberadaan senyawa *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) yang berpotensi bersifat karsinogenik dan genotoksik. Tantangan utama dalam pemanfaatannya adalah menyeimbangkan efektivitas antimikroba dengan batas konsentrasi yang dapat diterima dari sisi sensoris dan keamanan. Penelitian terkini mengindikasikan perlunya studi *in vivo* lebih lanjut untuk mengevaluasi potensi genotoksik senyawa seperti *furan-2(5H)-one* dan *benzene-1,2-diol* guna menetapkan batas konsentrasi yang aman bagi konsumen (Xin et al., 2022). Dengan demikian, tinjauan literatur yang komprehensif mengenai aktivitas antimikroba, keamanan, dan implikasi kesehatan asap cair menjadi sangat penting sebagai dasar ilmiah bagi pengembangan dan regulasi penggunaannya sebagai pengawet pangan alami. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, terdapat kebutuhan mendesak untuk mengkaji secara sistematis bagaimana mekanisme kerja antimikroba asap cair terhadap berbagai jenis mikroorganisme patogen pangan, serta sejauh mana konsentrasi efektifnya berimplikasi pada aspek keamanan pangan. Permasalahan pokok yang dikaji dalam penelitian ini meliputi: (1) bagaimana aktivitas antimikroba asap cair dari berbagai sumber biomassa terhadap bakteri dan jamur patogen pangan, (2) bagaimana profil keamanan dan potensi risiko kesehatan akibat paparan senyawa berbahaya dalam asap cair, serta (3) bagaimana implikasi kesehatan penggunaan asap cair sebagai pengawet pangan alami berdasarkan bukti-bukti ilmiah terkini.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis dan merangkum bukti ilmiah terkait efektivitas antimikroba asap cair dari berbagai sumber biomassa terhadap patogen pangan; (2) mengevaluasi profil keamanan asap cair mencakup kandungan senyawa toksik, batas konsentrasi aman, dan regulasi yang berlaku; serta (3) mengidentifikasi implikasi kesehatan dari penggunaan asap cair sebagai pengawet alami dalam sistem pangan, baik dari perspektif manfaat maupun risiko yang perlu diperhatikan dalam penerapannya secara luas. Secara teoritis, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi

berupa sintesis pengetahuan mutakhir yang dapat dijadikan acuan ilmiah bagi peneliti di bidang teknologi pangan dan keamanan pangan. Secara praktis, hasil tinjauan ini dapat menjadi referensi bagi industri pangan dalam mengambil keputusan berbasis bukti terkait pemanfaatan asap cair sebagai pengganti pengawet sintetis. Bagi regulator dan pembuat kebijakan, kajian ini menyediakan landasan ilmiah untuk penyusunan standar batas penggunaan asap cair yang aman pada produk pangan, sehingga keseimbangan antara efektivitas preservasi dan perlindungan kesehatan konsumen dapat tercapai secara optimal.

## METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR), yaitu metode sintesis bukti ilmiah yang bersifat sistematis, transparan, dan dapat direplikasi. Penelusuran literatur dilaksanakan melalui basis data elektronik bereputasi, meliputi PubMed, Scopus, *Web of Science*, dan Google Scholar, dengan memanfaatkan kombinasi kata kunci seperti "*liquid smoke*," "*antimicrobial activity*," "*food preservative*," "*food safety*," dan "*health implications*," yang dipertemukan menggunakan operator Boolean AND/OR. Rentang publikasi dibatasi pada tahun 2021 hingga 2025 guna memastikan relevansi dan kemutakhiran data yang dianalisis. Seluruh tahapan pelaporan hasil tinjauan mengikuti protokol *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020, sebagaimana ditetapkan oleh Page et al. (2021) bahwa "*systematic reviews serve many critical roles... they can provide syntheses of the state of knowledge in a field, from which future research priorities can be identified*."

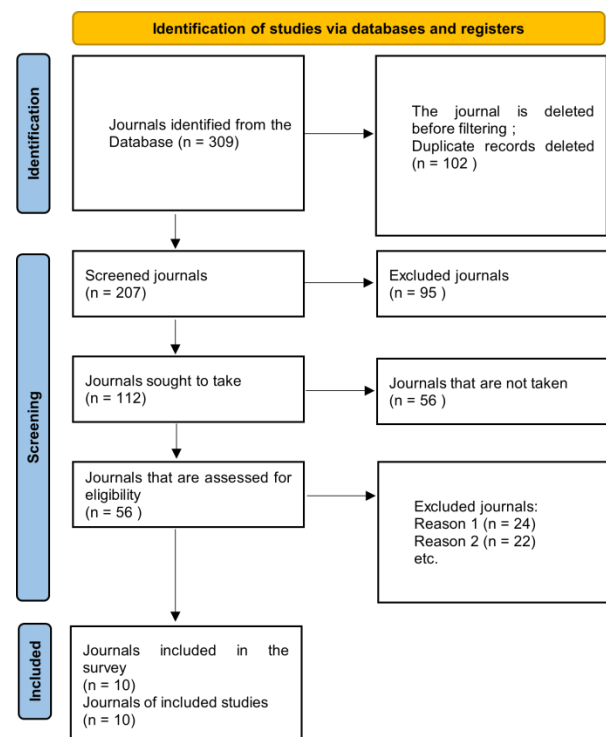
Kriteria inklusi dan eksklusi diterapkan secara ketat untuk menjaga kualitas sumber yang dianalisis. Artikel dimasukkan apabila memenuhi syarat berikut: (1) diterbitkan pada jurnal *peer-reviewed* berbahasa Inggris atau Indonesia; (2) membahas secara spesifik aktivitas antimikroba, keamanan, atau implikasi kesehatan asap cair; serta (3) tersedia dalam teks lengkap dan dapat diakses secara penuh. Sebaliknya, artikel dikecualikan apabila berupa abstrak konferensi, editorial, atau opini tanpa data empiris yang memadai. Proses penyaringan artikel dilaksanakan dalam dua tahap, yakni skrining judul dan abstrak, dilanjutkan dengan penilaian teks penuh berdasarkan relevansi konten. Selaras dengan hal ini, Surboyo et al. (2024) menerapkan prosedur serupa dalam tinjauan sistematisnya mengenai asap cair, di mana dari 1.669 artikel yang teridentifikasi, hanya 96 artikel

yang akhirnya memenuhi seluruh kriteria kelayakan untuk dianalisis lebih lanjut. Artikel-artikel yang lolos seleksi kemudian diekstraksi datanya secara terstruktur mencakup desain studi, jenis biomassa, spesies mikroorganisme yang diteliti, serta temuan utama terkait efikasi dan keamanan penggunaan asap cair sebagai pengawet pangan alami.

## HASIL

### Hasil Seleksi Literatur

Proses identifikasi literatur dilakukan melalui penelusuran sistematis pada basis data PubMed, Scopus, *Web of Science*, dan Google Scholar menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan. Artikel yang tidak relevan dengan topik asap cair sebagai pengawet pangan, bukan merupakan artikel *peer-reviewed*, serta diterbitkan di luar rentang tahun 2021–2025 dikeluarkan dari analisis. Proses seleksi ini divisualisasikan melalui diagram alir PRISMA sebagaimana ditampilkan berikut ini.



Gambar 1. Diagram Alir PRISMA Proses Seleksi Literatur

Gambar 1 menampilkan alur seleksi literatur menggunakan protokol PRISMA 2020 yang mencakup empat tahapan utama, yaitu identifikasi (*identification*), penyaringan (*screening*), kelayakan (*eligibility*), dan inklusi (*included*). Dari total artikel yang teridentifikasi pada basis data elektronik, dilakukan penghapusan

duplikasi, diikuti penyaringan judul dan abstrak, kemudian penilaian teks lengkap, hingga diperoleh 10 artikel final yang memenuhi seluruh kriteria dan digunakan dalam analisis tabel sintesis. Seluruh

artikel yang memenuhi kriteria inklusi dirangkum dalam tabel sintesis berikut sebagai landasan analisis pembahasan.

Tabel 1

Tabel Sintesis Hasil Kajian Literatur tentang Asap Cair sebagai Pengawet Alami Pangan

| No | Author                      | Judul                                                                                                                                                                   | Metode                                                                                                                                                              | Sampel                                                        | Hasil Temuan Peneliti                                                                                                                                                                                                                        |
|----|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | (Mansur et al., 2023)       | Pyrolysis of cajuput (Melaleuca leucadendron) twigs and rice (Oryza sativa) husks to produce liquid smoke-containing fine chemicals for antibacterial agent application | Pirolisis 500°C selama 8 jam; pemisahan fraksi dengan evaporasi vakum pada 40°C, 50°C, 60°C; uji antibakteri dengan zona hambat                                     | Asap cair dari ranting kayu putih dan sekam padi              | Seluruh fraksi asap cair mampu menghambat 6 bakteri patogen ( <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. typhimurium</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i> ); fraksi 60°C menunjukkan daya hambat terkuat |
| 2  | (Desvita et al., 2023)      | Natural antimicrobial properties of liquid smoke derived from cocoa pod shells in meatball preservation                                                                 | Pirolisis lambat pada 300°C, 340°C, 380°C; pemurnian distilasi 190°C; uji TVB-N, TPC, MPN; ANOVA + Tukey's test                                                     | Asap cair dari kulit buah kakao; aplikasi pada bakso sapi     | Bakso tetap segar selama 42–48 jam pada suhu ruang dengan konsentrasi asap cair 0,5%–3%; semakin tinggi konsentrasi semakin panjang masa simpan                                                                                              |
| 3  | (Pradana et al., 2025)      | Antifungal Activity of Rice Husk-Derived Liquid Smoke: Growth Suppression of <i>Rhizoctonia solani</i> and Bioactive Compound Profiling                                 | Pirolisis sekam padi; uji antijamur in vitro pada PDA; analisis senyawa aktif dengan GC-MS; pengukuran diameter koloni selama 7 hari                                | Asap cair sekam padi; jamur <i>Rhizoctonia solani</i>         | Konsentrasi 5% mencapai 100% penghambatan pertumbuhan <i>R. solani</i> ; GC-MS mengidentifikasi 40 senyawa bioaktif termasuk fenol dan asam organik                                                                                          |
| 4  | (Mutamima et al., 2025)     | Karakterisasi fisikokimia asap cair dari tempurung kelapa serta potensinya sebagai pengawet alami bakso ikan                                                            | Torrefaksi 250°C; pemurnian distilasi dan adsorpsi karbon aktif; analisis GC-MS; uji TPC bakteri pada bakso ikan                                                    | Asap cair tempurung kelapa; bakso ikan                        | pH 2,86; densitas 1,058 g/mL; senyawa dominan asam asetat (80,87%) dan fenol (8,90%); konsentrasi 7% menghasilkan jumlah koloni bakteri terendah ( $2,35 \times 10^6$ CFU/g)                                                                 |
| 5  | (Nurmarini et al., 2025)    | Potential of Coconut Shell Liquid Smoke as a Natural Preservative for Tofu: A Study of Organoleptic Properties, Protein Content, and Ash Content                        | Perendaman tahu dalam asap cair 2%, 4%, 6%; uji organoleptik oleh 15 panelis; uji protein metode Lowry; uji abu dry ashing selama 3 hari                            | Asap cair tempurung kelapa; tahu putih                        | Panelis menyukai warna, aroma, dan tekstur tahu; kandungan protein tertinggi (1,45%) pada hari ke-1 dengan konsentrasi 6%; kadar protein dan abu belum memenuhi SNI 3142-2018                                                                |
| 6  | (Purwantisari et al., 2024) | Chemical composition and antibacterial activity of coconut-shell liquid smoke to maintain the texture of fresh meat                                                     | Identifikasi senyawa GC-MS; uji tekstur daging ayam broiler segar selama 7 hari (25°C); uji antibakteri pada konsentrasi 5%, 25%, 50%, 75% terhadap bakteri patogen | Asap cair tempurung kelapa grade 2; daging ayam broiler segar | Senyawa utama: turunan asam lemak tak jenuh dan fenol; konsentrasi optimal 50% menghambat <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , dan <i>E. coli</i> ; korelasi linier antara konsentrasi dan zona hambat        |

|    |                          |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                       |
|----|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7  | (Suryani et al., 2022)   | Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, and Chemical Composition of Liquid Smoke Derived from Wood Sawdust                             | Pirolisis biomassa serbuk kayu; pemurnian; analisis fenol dengan metode Folin-Ciocalteu; analisis GC-MS; uji antioksidan                                                                                             | Asap cair mentah dan asap cair murni dari serbuk gergaji kayu                                                             | IC50 antioksidan asap cair mentah 46,24 µg/mL; total fenol mentah 95,93 µgGAE; senyawa dominan Phenol Izal dan Guaiacol; asap cair mentah lebih efektif sebagai antioksidan dibanding yang dimurnikan |
| 8  | (Meilina et al., 2022)   | Antibacterial Activity of Liquid Smoke Powder from Rice Husk                                                                                 | Pirolisis sekam padi pada 300°C, 350°C, 400°C; pemurnian distilasi; spray-drying menjadi serbuk; uji antibakteri metode Kirby-Bauer; analisis GC-MS                                                                  | Serbuk asap cair dari sekam padi; bakteri <i>S. aureus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>S. choleraesuis</i> , <i>E. coli</i> | Serbuk asap cair menghambat semua bakteri uji dengan zona hambat 6–9 mm; mengandung senyawa asam asetat, 2-propanon, butanal, asam propanoat, dan fenol                                               |
| 9  | (Deliephan et al., 2023) | Effects of liquid smoke preparations on shelf life and growth of wild type mold and <i>Aspergillus flavus</i> in a model semi moist pet food | Formulasi pangan dengan 8 preparasi asap cair (0%–4%); penyimpanan 28°C, RH 65–70% selama 30 hari; inokulasi <i>A. flavus</i> ; analisis pertumbuhan jamur setiap 2 hari selama 35 hari                              | Berbagai preparasi asap cair komersial; pangan semi-lembab model (pet food)                                               | Asap cair 4% memperpanjang masa simpan rata-rata 24,1 hari; preparasi karbonil tinggi (S3, S6) paling efektif; S6 mereduksi <i>A. flavus</i> hingga 2,5 log pada konsentrasi 4%                       |
| 10 | (Popovski et al., 2025)  | The Effect of Liquid Smoke on Foodborne Pathogens in Ready-to-Eat Meat Products                                                              | Inokulasi produk daging dengan <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. Enteritidis</i> ; perlakuan asap cair 1%, 2,5%, 5%; pengamatan jumlah bakteri pada jam ke-2, hari ke-7, dan hari ke-14 pada suhu 4°C | Asap cair komersial Cloud S9; ham ayam dan ham sapi                                                                       | Asap cair 5% mereduksi <i>L. monocytogenes</i> >2 log CFU/g setelah 14 hari; <i>E. coli</i> dan <i>Salmonella</i> lebih resisten; efek bersifat bakteriostatik pada konsentrasi rendah                |

Tabel 1 menyajikan ringkasan dari 10 artikel terpilih yang mencakup identitas penulis dan tahun terbit, judul penelitian, metode yang digunakan, sampel yang diteliti, hasil temuan utama, serta relevansinya dengan topik tinjauan. Kesepuluh artikel ini mewakili rentang tahun 2021 hingga 2025 dan berasal dari berbagai sumber biomassa asap cair dengan pendekatan eksperimental kuantitatif yang terstandar.

Untuk memudahkan perbandingan antar penelitian secara menyeluruh, disajikan tabel komparasi berikut ini. *Penyajian:* Tabel 2 menyajikan perbandingan komprehensif antara 10 artikel yang dikaji, meliputi kolom: (1) Penulis & Tahun, (2) Sumber Biomassa Asap Cair, (3) Metode Utama, (4) Konsentrasi Efektif, (5) Target Mikroorganisme, dan (6) Temuan Utama. Perbandingan ini memungkinkan identifikasi pola konsistensi dan perbedaan lintas studi terkait efektivitas antimikroba asap cair dari berbagai sumber bahan baku, sehingga memberikan

gambaran komprehensif mengenai faktor-faktor determinan yang memengaruhi daya preservasi asap cair.

Secara keseluruhan, analisis komparatif lintas studi dari kesepuluh jurnal yang dikaji mengungkap adanya pola yang konsisten bahwa efektivitas antimikroba dan antijamur asap cair ditentukan oleh tiga faktor utama yang saling berinteraksi, yaitu sumber biomassa, suhu pirolisis, serta konsentrasi aplikasi. Bakteri Gram-positif seperti *S. aureus* dan *L. monocytogenes* secara umum lebih rentan dibandingkan bakteri Gram-negatif seperti *E. coli* dan *Salmonella* spp., berkaitan erat dengan perbedaan struktur dinding sel yang memengaruhi penetrasi senyawa fenolik aktif. Temuan lintas studi ini memiliki implikasi signifikan bagi industri pangan dalam menentukan konsentrasi asap cair yang tepat sesuai jenis produk dan target patogen, sekaligus mempertegas kebutuhan mendesak untuk mengembangkan standar regulasi yang lebih komprehensif terkait

batas penggunaan asap cair pada berbagai kategori produk pangan, baik produk hewani maupun nabati.

Tabel 2

Tabel Perbandingan Antar 10 Jurnal Berdasarkan Sumber Biomassa, Metode, Konsentrasi Efektif, Target Mikroba, dan Temuan Utama

| No | Penulis & Tahun             | Sumber Biomassa                     | Metode Utama                                                       | Konsentrasi Efektif | Target Mikroba                                                                                                                  | Temuan Utama                                                                    |
|----|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | (Mansur et al., 2023)       | Ranting kayu putih & sekam padi     | Pirolisis 500°C; evaporasi vakum; uji zona hambat                  | Fraksi 60°C         | <i>L. monocytogenes</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. typhimurium</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i> | Seluruh fraksi menghambat 6 bakteri patogen; fraksi 60°C terkuat                |
| 2  | (Desvita et al., 2023)      | Kulit buah kakao                    | Pirolisis lambat 300–380°C; uji TVB-N, TPC, MPN                    | 0,5–3%              | Bakteri pembusuk & patogen pada bakso                                                                                           | Bakso segar 42–48 jam; konsentrasi berkorelasi positif dengan masa simpan       |
| 3  | (Pradana et al., 2025)      | Sekam padi                          | Pirolisis; uji antijamur <i>in vitro</i> ; GC-MS                   | 5%                  | <i>Rhizoctonia solani</i>                                                                                                       | 100% penghambatan; 40 senyawa bioaktif teridentifikasi                          |
| 4  | (Mutamima et al., 2025)     | Tempurung kelapa                    | Torrefaksi 250°C; GC-MS; uji TPC                                   | 7%                  | Bakteri pada bakso ikan                                                                                                         | Koloni terendah $2,35 \times 10^6$ CFU/g; pH 2,86; asam asetat dominan 80,87%   |
| 5  | (Nurmarini et al., 2025)    | Tempurung kelapa                    | Perendaman; organoleptik; uji protein & abu                        | 2–6%                | (kualitas pangan)                                                                                                               | Diterima sensoris; protein & abu belum memenuhi SNI 3142-2018                   |
| 6  | (Purwantisari et al., 2024) | Tempurung kelapa grade 2            | GC-MS; uji tekstur & antibakteri                                   | 50%                 | <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i>                                              | Korelasi linier konsentrasi–zona hambat; dominasi fenol & asam lemak            |
| 7  | (Suryani et al., 2022)      | Serbuk gergaji kayu                 | Folin-Ciocalteu; GC-MS; uji antioksidan                            |                     | (antioksidan)                                                                                                                   | IC <sub>50</sub> 46,24 µg/mL; asap mentah lebih efektif dari yang dimurnikan    |
| 8  | (Meilina et al., 2022)      | Sekam padi                          | Pirolisis; <i>spray-drying</i> ; Kirby-Bauer; GC-MS                | 0,1 mg/mL           | <i>S. aureus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>S. choleraesuis</i> , <i>E. coli</i>                                                 | Zona hambat 6–9 mm; serbuk mempertahankan aktivitas antibakteri                 |
| 9  | (Deliephan et al., 2023)    | Asap cair komersial                 | Formulasi pangan; inokulasi <i>A. flavus</i> ; penyimpanan 35 hari | 4%                  | <i>A. flavus</i> & kapang liar                                                                                                  | Masa simpan +24,1 hari; karbonil tinggi paling efektif                          |
| 10 | (Popovski et al., 2025)     | Asap cair komersial <i>Cloud S9</i> | Inokulasi daging; pengamatan 14 hari pada 4°C                      | 5%                  | <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. Enteritidis</i>                                                                | >2 log CFU/g reduksi <i>L. monocytogenes</i> ; <i>Salmonella</i> lebih resisten |

## PEMBAHASAN

### Aktivitas Antimikroba Asap Cair terhadap Bakteri Patogen Pangan

Bukti ilmiah dari literatur yang dikaji secara konsisten mengonfirmasi bahwa asap cair

dari berbagai sumber biomassa mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen pangan dengan mekanisme yang bergantung pada konsentrasi. Mansur et al. (2023) membuktikan bahwa seluruh fraksi asap cair hasil pirolisis

ranting kayu putih (*Melaleuca leucadendron*) dan sekam padi (*Oryza sativa*) pada suhu 500°C mampu menghambat pertumbuhan enam bakteri patogen sekaligus, meliputi *Listeria monocytogenes*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Escherichia coli*, dengan fraksi yang dievaporasi pada suhu 60°C menunjukkan daya hambat terkuat. Temuan ini mengindikasikan bahwa proses pemisahan fraksi melalui evaporasi vakum berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi senyawa aktif yang bertanggung jawab atas efek antimikroba, karena fraksi suhu lebih tinggi mengandung senyawa fenol dan asam organik dalam proporsi yang lebih terkonsentrasi.

Konsistensi efek antimikroba asap cair juga ditunjukkan dalam konteks produk daging olahan. Purwantisari et al. (2024) melaporkan bahwa asap cair tempurung kelapa *grade 2* pada konsentrasi 50% menghasilkan penghambatan optimal terhadap *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, dan *E. coli* pada daging ayam broiler segar, dengan terdapat korelasi linier antara peningkatan konsentrasi dan perluasan zona hambat. Identifikasi senyawa melalui GC-MS pada penelitian tersebut menunjukkan dominasi turunan asam lemak tak jenuh dan fenol sebagai komponen utama yang berkontribusi pada aktivitas antibakteri. Pola korelasi linier ini memiliki implikasi praktis bagi industri pangan dalam menentukan konsentrasi minimum yang diperlukan untuk mencapai efek pengawetan yang dikehendaki.

Inovasi bentuk sediaan asap cair turut memperluas cakupan aplikasinya dalam pengawetan pangan. Meilina et al. (2022) mendemonstrasikan bahwa asap cair sekam padi yang dikonversi menjadi serbuk melalui proses *spray-drying* pada suhu pirolisis 300°C, 350°C, dan 400°C tetap mempertahankan aktivitas antibakterinya, dengan zona hambat berkisar antara 6–9 mm terhadap *S. aureus*, *B. subtilis*, *S. choleraesuis*, dan *E. coli* menggunakan metode Kirby-Bauer. Senyawa aktif yang teridentifikasi mencakup asam asetat, 2-propanon, butanal, asam propanoat, dan senyawa fenol. Transformasi ke bentuk serbuk ini secara signifikan meningkatkan stabilitas produk dan kemudahan penerapan dalam formulasi pangan industri.

Pada skala aplikasi produk daging siap santap (*ready-to-eat*), Popovski et al. (2025) mengkaji secara spesifik efektivitas asap cair komersial *Cloud S9* terhadap tiga patogen utama. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa asap cair 5% mencapai reduksi *L. monocytogenes* lebih dari

2 log CFU/g setelah 14 hari penyimpanan pada suhu 4°C, sementara *E. coli* dan *Salmonella* Enteritidis menunjukkan resistensi lebih tinggi, dengan efek yang bersifat bakteriostatik pada konsentrasi rendah. Perbedaan tingkat sensitivitas antibakteri ini secara ilmiah berkaitan dengan perbedaan kompleksitas struktur dinding sel: bakteri Gram-positif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tebal namun lebih mudah diinfiltrasi senyawa fenol, sedangkan bakteri Gram-negatif memiliki membran luar lipopolisakarida yang berfungsi sebagai pelindung tambahan.

### **Aktivitas Antijamur dan Pengaruh Komposisi Senyawa Aktif**

Di luar cakupan antibakteri, asap cair juga memperlihatkan potensi antijamur yang signifikan, dengan efektivitas yang dipengaruhi oleh komposisi senyawa aktif dari biomassa asalnya. Deliephan et al. (2023) membuktikan bahwa preparasi asap cair komersial dengan kandungan karbonil tinggi merupakan yang paling efektif menekan pertumbuhan *Aspergillus flavus* pada pangan semi-lembab, di mana konsentrasi 4% berhasil memperpanjang masa simpan rata-rata hingga 24,1 hari dibandingkan kontrol yang hanya bertahan 7,7 hari. Preparasi *Cloud S-C100* dan *Code-10* yang kaya karbonil mampu mereduksi jumlah *A. flavus* hingga 2,5 log pada konsentrasi 4%, suatu temuan yang menegaskan bahwa komponen karbonil memiliki peran dominan dalam aktivitas antijamur, melampaui peran senyawa fenol yang lebih dominan pada penghambatan bakteri.

Pradana et al. (2025) melengkapi bukti antijamur tersebut dengan mengonfirmasi bahwa asap cair sekam padi pada konsentrasi 5% mencapai penghambatan 100% terhadap *Rhizoctonia solani* secara *in vitro* yang diamati selama tujuh hari pada medium PDA. Analisis GC-MS pada penelitian tersebut mengidentifikasi 40 senyawa bioaktif dalam asap cair sekam padi, termasuk senyawa fenol dan asam organik, yang bersinergi dalam merusak integritas membran sel jamur dan mengganggu proses metabolisme normalnya. Penghambatan total yang dicapai pada konsentrasi 5% ini memberikan informasi penting tentang ambang batas konsentrasi efektif (*minimum effective concentration*) yang dapat dijadikan acuan dalam formulasi fungsida alami berbasis asap cair untuk aplikasi pangan.

### **Profil Fisikokimia, Senyawa Aktif, dan Kapasitas Antioksidan Asap Cair**

Karakterisasi fisikokimia merupakan fondasi ilmiah yang menentukan kualitas dan konsistensi efektivitas asap cair sebagai pengawet pangan. Mutamima et al. (2024) melaporkan secara rinci bahwa asap cair tempurung kelapa yang diproduksi melalui torrefaksi pada suhu 250°C memiliki karakteristik pH 2,86 dan densitas 1,058 g/mL, dengan komposisi senyawa dominan berupa asam asetat (80,87%) dan fenol (8,90%), serta dinyatakan memenuhi persyaratan SNI 8985:2021. Pada uji aplikasi terhadap bakso ikan, konsentrasi 7% menghasilkan jumlah koloni bakteri terendah sebesar  $2,35 \times 10^6$  CFU/g, menunjukkan hubungan yang jelas antara profil fisikokimia, komposisi senyawa aktif, dan performa pengawetan.

Suryani et al. (2022) memberikan perspektif yang menarik dan kritis mengenai pengaruh proses pemurnian terhadap kualitas asap cair dari serbuk gergaji kayu. Penelitian tersebut menemukan bahwa asap cair mentah memiliki aktivitas antioksidan lebih unggul dibandingkan yang telah dimurnikan, dengan nilai IC<sub>50</sub> sebesar 46,24 µg/mL dan total fenol 95,93 µg GAE, serta dominasi senyawa *phenol izal* dan *guaiacol* yang diidentifikasi melalui GC-MS. Fakta bahwa pemurnian justru menurunkan kapasitas antioksidan ini memberikan implikasi penting dalam konteks optimasi proses produksi, yakni terdapat *trade-off* antara kebutuhan keamanan pangan yang mensyaratkan pengurangan senyawa berbahaya seperti PAH (*polycyclic aromatic hydrocarbons*) melalui pemurnian dengan efektivitas biologis yang membutuhkan retensi maksimal senyawa fenolik aktif.

### Keamanan Pangan dan Implikasi Kesehatan Penggunaan Asap Cair

Aspek keamanan pangan dan implikasi kesehatan menjadi pertimbangan mendasar yang tidak dapat dipisahkan dari kajian efektivitas asap cair sebagai pengawet alami. Desvita et al. (2023) melaporkan bahwa bakso sapi yang dipreservasi dengan asap cair kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) pada konsentrasi 0,5%–3% tetap mempertahankan kesegaran hingga 42–48 jam pada suhu ruang, dengan nilai TVB-N (*total volatile base nitrogen*) yang terkontrol di bawah ambang batas keamanan. Temuan ini secara langsung menunjukkan bahwa rentang konsentrasi tersebut efektif menekan aktivitas bakteri pembusuk dan patogen tanpa menghasilkan produk degradasi nitrogen yang berlebihan, suatu indikator keamanan konsumsi yang krusial untuk produk daging olahan.

Nurmarini (2025) memberikan perspektif berbeda yang penting dari sisi produk pangan nabati. Penelitian tersebut mengungkapkan bahwa meskipun asap cair tempurung kelapa pada konsentrasi 2%–6% diterima secara organoleptik oleh panelis dari aspek warna, aroma, dan tekstur tahu, kandungan protein dan abu produk yang dihasilkan belum memenuhi standar SNI 3142-2018. Temuan ini menggarisbawahi bahwa penggunaan asap cair pada produk nabati berprotein tinggi seperti tahu memerlukan kajian mendalam terkait interaksi antara senyawa aktif asap cair terutama fenol dan asam organik dengan komponen protein produk, yang berpotensi memengaruhi nilai gizi dan kepatuhan terhadap standar mutu regulasi. Kondisi ini menegaskan bahwa penetapan batas konsentrasi aman (*safe concentration limits*) yang bersifat spesifik per kategori produk pangan mutlak diperlukan sebagai landasan regulasi penggunaan asap cair secara luas di industri pangan nasional.

### SIMPULAN

Tinjauan sistematis terhadap sepuluh artikel ilmiah tahun 2021–2025 membuktikan bahwa asap cair dari beragam sumber biomassa, mencakup tempurung kelapa, sekam padi, serbuk gergaji kayu, dan kulit buah kakao, memiliki kapasitas penghambatan nyata terhadap bakteri maupun jamur patogen pangan melalui kerja sinergis senyawa fenol, asam organik, dan karbonil. Kelompok bakteri *Gram-positive* terbukti lebih mudah dihambat dibandingkan *Gram-negative* akibat perbedaan arsitektur dinding sel. Selain itu, kapasitas antioksidan yang dimiliki asap cair turut memperkuat perannya sebagai pengawet alami. Kendati demikian, keberadaan senyawa *polycyclic aromatic hydrocarbons* dan belum terpenuhinya sejumlah standar mutu pada produk tertentu menunjukkan bahwa optimasi konsentrasi aplikasi berbasis kategori produk masih sangat diperlukan.

### REFERENSI

- Brustolin, A. P., Soares, J. M., Muraro, K., Schwert, R., Steffens, C., Cansian, R. L., & Valduga, E. (2024). Investigating antimicrobial and antioxidant activity of liquid smoke and physical-chemical stability of bacon subjected to liquid smoke and conventional smoking. *Journal of Food Science*, 89(11), 7217–7227. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17379>
- Deliephan, A., Dhakal, J., Subramanyam, B., & Aldrich, C. G. (2023). Effects of liquid smoke

- preparations on shelf life and growth of wild type mold and *Aspergillus flavus* in a model semi moist pet food. *Frontiers in Microbiology*, 14(April), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1154765>
- Desvita, H., Faisal, M., Mahidin, M., & Suhendrayatna. (2023). Natural antimicrobial properties of liquid smoke derived from cocoa pod shells in meatball preservation. *South African Journal of Chemical Engineering*, 46(July 2022), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.08.003>
- Mansur, D., Sugiwati, S., Rizal, W. A., Suryani, R., & Maryana, R. (2023). Pyrolysis of cajuput (*Melaleuca leucadendron*) twigs and rice (*Oryza sativa*) husks to produce liquid smoke-containing fine chemicals for antibacterial agent application. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(12), 10561–10574. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01896-x>
- Meilina, H., Muriady, & Faisal, M. (2022). Antibacterial Activity Of Liquid Smoke Powder. *International Journal of GEOMATE*, 23(95), 89–96. <https://doi.org/10.21660/2022.95.7522>
- Mutamima, A., Sunarno, S., Dian, C., Dewi, W. N., Danta, S., & Barus, A. (2025). Karakterisasi fisikokimia asap cair dari tempurung kelapa serta potensinya sebagai pengawet alami bakso ikan. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 22(1), 13–22. <https://doi.org/10.31849/jip.v22i1.23850>
- Nurmarini, E., Hadijah, S., Marwati, Hamka, Ulfyah, L., & Prasetyo, A. A. (2025). Potential of Coconut Shell Liquid Smoke as a Natural Preservative for Tofu: A Study of Organoleptic Properties, Protein Content, and Ash Content. *Buletin Poltanesa*, 26(2), 438–445. <https://doi.org/10.51967/tanesa.v26i2.3527>
- 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. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Bmj*, 372.
- Popovski, K., Prodanov, M., Manovska, M. R., & Jankuloski, D. (2025). the Effect of Liquid Smoke on Foodborne Pathogens in Ready-To-Eat Meat Products. *Archives of Veterinary Medicine*, 18(2), 143–158. <https://doi.org/10.46784/e-avm.v18i2.515>
- Pradana, A. P., Damayanti, D. I., Adiwena, M., Yousif, A. I. A., & Putri, D. (2025). Antifungal Activity of Rice Husk-Derived Liquid Smoke: Growth Suppression of *Rhizoctonia solani* and Bioactive Compound Profiling. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 40(3), 376–389. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v40i3.95289>
- Purwantisari, S., Nur Jannah, S., Nabilla Fikri, D., Aulia Wulandari, S., Yohana, E., Setiyana, B., Ardiansari, A., Ikhlusal Amal, D., & Dwi Ariyanto, H. (2024). Chemical composition and antibacterial activity of coconut-shell liquid smoke to maintain the texture of fresh meat. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, 7(2), 194–202. <https://doi.org/10.21776/ub.afssaae.2024.007.02.8>
- Surboyo, M. D. C., Baroutian, S., Puspitasari, W., Zubaidah, U., Handy, P., Cecilia, Mansur, D., Iskandar, B., Ayuningtyas, N. F., Mahdani, F. Y., & Ernawati, D. S. (2024). Health benefits of liquid smoke from various biomass sources: a systematic review. *BIO Integration*, 5(1), 1–19. <https://doi.org/10.15212/bioi-2024-0083>
- Suryani, R., Daradwinta, R., Az-Zahra, S., Rahmah, S. A., Rizal, W. A., Jatmiko, T. H., Apriyana, W., & Purwestri, Y. A. (2022). Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, and Chemical Composition of Liquid Smoke Derived from Wood Sawdust. *Proceedings of the 7th International Conference on Biological Science (ICBS 2021)*, 22(Icbs 2021), 634–639. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220406.091>
- Xin, X., Zhao, W., Essien, S., Dell, K., & Baroutian, S. (2022). The effects of ageing treatment on bioactive contents and chemical composition of liquid smoke food flavourings. *European Food Research and Technology*, 248(5), 1311–1319. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-03976-2>