



EFFECTS OF PLANT-BASED FUNCTIONAL INGREDIENTS ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF PORK EMULSION PRODUCTS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Ana S. Wihyawari¹, Sangle Y. Randa^{2*}, Johan F. Koibur³, Hanike Monim⁴, Daniel Y. Seseray⁵

^{1,2,3,4,5}Department of Animal Science, Faculty of Animal Husbandry, Universitas Papua, Indonesia

Email: sangleranda@gmail.com

Abstract

Plant-based functional ingredients have the potential to replace synthetic additives in pork emulsion products; however, evidence regarding the effectiveness and mechanisms of different ingredient categories remains fragmented. This systematic review aimed to synthesize the effects of plant-based ingredients on the technological, nutritional, oxidative, and sensory characteristics of pork emulsion products. Following PRISMA 2020, searches across four databases identified 659 articles, of which 25 studies published between 2007 and 2026 met the inclusion criteria and were qualitatively synthesized using narrative synthesis and vote counting. Starches and flours were the most frequently studied category (40%), followed by bioactive compounds (24%), dietary fibers (12%), and plant proteins (8%). Overall, plant-based ingredients improved water-holding capacity (WHC), cooking yield, emulsion stability, texture, nutritional value, oxidative stability, and color. Their complementary functions support multifunctional formulation and clean-label product development. Standardized formulations and experimental validation of ingredient combinations remain key priorities for future research.

Keywords: Antioxidants Activity, Emulsion Stability, Plant-Based Functional Ingredients, Pork Emulsion Products, PRISMA

Abstrak

Bahan fungsional berbasis tumbuhan berpotensi menggantikan aditif sintetis pada produk emulsi daging babi, tetapi bukti mengenai efektivitas dan mekanisme berbagai kategori bahan masih belum terintegrasi. Kajian sistematis ini bertujuan mensintesis pengaruh bahan nabati terhadap karakteristik teknologi, gizi, oksidatif, dan sensori produk emulsi daging babi. Mengikuti PRISMA 2020, pencarian empat basis data menghasilkan 659 artikel, dengan 25 studi (2007–2026) memenuhi kriteria inklusi dan disintesis secara naratif menggunakan vote counting. Pati dan tepung merupakan kategori paling banyak diteliti (40%), diikuti senyawa bioaktif (24%), serat pangan (12%), dan protein nabati (8%). Secara umum, bahan nabati meningkatkan WHC, cooking yield, stabilitas emulsi, tekstur, nilai gizi, stabilitas oksidatif, dan warna. Temuan menunjukkan fungsi yang komplementer, mendukung formulasi multifungsi dan pengembangan produk clean-label. Standardisasi formulasi dan validasi kombinasi bahan menjadi prioritas penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: Aktivitas Antioksidan, Stabilitas Emulsi, Bahan Fungsional Nabati, Produk Emulsi Daging Babi, PRISMA

1. Pendahuluan

Produk emulsi daging babi, seperti sosis, bakso, patty, dan nugget, banyak dikonsumsi karena karakteristik sensori yang baik, nilai gizi, serta fleksibilitas formulasinya. Namun, mempertahankan stabilitas emulsi, tekstur, dan stabilitas oksidatif selama pengolahan maupun penyimpanan masih menjadi tantangan utama. Kehilangan air dan lemak, oksidasi lipid, perubahan warna, serta degradasi tekstur dapat menurunkan kualitas produk, penerimaan konsumen, dan umur simpan (Dong et al., 2023; Verma et al., 2015). Meskipun aditif sintetis telah lama digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut, meningkatnya permintaan terhadap produk clean-label, aman, dan berkelanjutan mendorong pemanfaatan bahan fungsional berbasis tumbuhan sebagai alternatif alami (Borşa et al., 2025; Jandyal et al., 2022; Rebezov et al., 2021). Kecenderungan ini juga didukung oleh berkembangnya penelitian yang menempatkan bahan nabati bukan hanya sebagai pengisi, tetapi sebagai komponen yang dapat memberikan fungsi teknologi dan perlindungan oksidatif pada matriks daging (Manessis et al., 2020).

Berbagai bahan fungsional berbasis tumbuhan, meliputi pati, serat pangan, protein nabati, senyawa bioaktif, dan hidrokoloid, berpotensi meningkatkan water-holding capacity, stabilitas emulsi, cooking yield, tekstur, aktivitas antioksidan, serta nilai gizi produk emulsi daging babi (Gao et al., 2026; Mishra et al., 2023; Sembong et al., 2019; Utari et al., 2024; Xu et al., 2022). Hidrokoloid juga dapat memodifikasi sifat fisikokimia dan struktur protein melalui interaksi dengan matriks daging dan fase lemak (Geng et al., 2023; Li et al., 2023). Sementara itu, konsentrat protein nabati mulai digunakan sebagai substituen parsial untuk memperkuat struktur emulsi dan mengurangi ketergantungan pada komponen hewani (Santos et al., 2022; Zhu et al., 2026). Berdasarkan kategori fungsional, senyawa bioaktif terutama dikaji sebagai antioksidan alami (Jin et al., 2014; Mahapatra et al., 2020), pati atau tepung sebagai fat replacers dan binding agents (Gao et al., 2026; Pereira et al., 2020), serat pangan untuk fungsi teknologi dan fisiologis (Jandyal et al., 2022; Mishra et al., 2023; Xu et al., 2022), serta protein nabati sebagai pengganti fosfat (Peetitungwong et al., 2020; Yeung & Huang, 2018). Namun, perbedaan bahan, formulasi, tingkat substitusi, parameter mutu, dan metode evaluasi membuat hasil sulit dibandingkan, sehingga sintesis komprehensif mengenai efektivitas relatif dan mekanisme fungsional tiap kategori masih terbatas (Sujata et al., 2025).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menyajikan Systematic Literature Review (SLR) menggunakan pedoman PRISMA 2020 untuk mengintegrasikan bukti mengenai pengaruh bahan fungsional berbasis tumbuhan terhadap karakteristik kualitas produk emulsi daging babi. Berbeda dengan tinjauan sebelumnya yang umumnya hanya membahas satu kategori bahan atau satu atribut mutu, penelitian ini membandingkan secara sistematis empat kategori utama, yaitu pati dan tepung, serat pangan, protein nabati, serta senyawa bioaktif. Selain mengevaluasi pengaruhnya terhadap water-holding capacity, stabilitas emulsi, cooking yield, tekstur, aktivitas antioksidan, dan penerimaan sensori, penelitian ini juga mensintesis mekanisme fungsional masing-masing kategori untuk mengidentifikasi pola umum, keunggulan relatif, serta peluang formulasi sinergis dalam pengembangan produk emulsi daging babi yang lebih sehat, clean-label, dan berkelanjutan (Dong et al., 2023; Manessis et al., 2020; Peetitungwong et al., 2020).

2. Bahan dan Metode

Protokol Tinjauan

Penelitian ini menggunakan Systematic Literature Review (SLR) untuk mensintesis bukti mengenai pengaruh bahan fungsional berbasis tumbuhan terhadap karakteristik kualitas produk emulsi daging babi. Proses tinjauan mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) yang mencakup identifikasi literatur, penyaringan, penilaian kelayakan, ekstraksi data, serta sintesis hasil penelitian (Page et al., 2021). Karena hasil penelitian yang ditemukan memiliki variasi pada desain, jenis bahan, dan ukuran luaran, sintesis hasil dilaporkan secara naratif sesuai prinsip Synthesis Without Meta-analysis (SWiM) (Campbell et al., 2020).

Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan pada empat basis data, yaitu Google Scholar, ScienceDirect, Dimensions, dan Garuda, menggunakan kombinasi kata kunci yang berkaitan dengan produk emulsi daging babi dan bahan fungsional berbasis tumbuhan, seperti pork sausage, pork meatball, plant-based functional ingredients, starch, dietary fiber, plant protein, fat replacer, antioxidant, dan pork emulsion. Operator Boolean AND dan OR digunakan untuk mengoptimalkan pencarian tanpa membatasi tahun publikasi. Seluruh hasil pencarian digabungkan, kemudian artikel duplikat dihapus sebelum dilakukan penyaringan judul dan abstrak. Proses pencarian awal menghasilkan 659 artikel.

Kriteria Kelayakan dan Pemilihan Studi

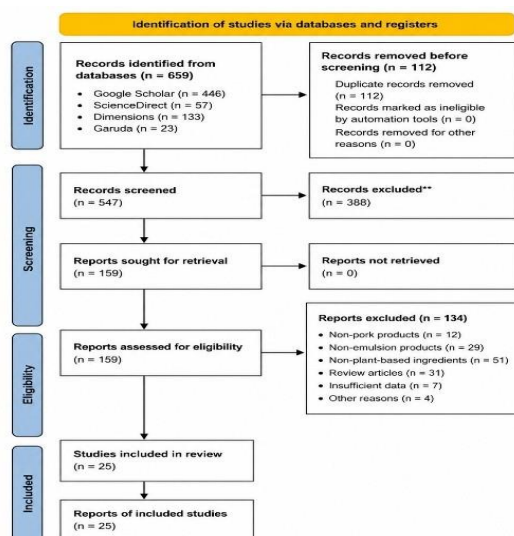
Kriteria inklusi dan eksklusi ditetapkan sebelum proses seleksi (Tabel 1). Studi diikutsertakan apabila merupakan artikel penelitian asli peer-reviewed, mengevaluasi penggunaan bahan fungsional berbasis tumbuhan pada produk emulsi daging babi, melaporkan sedikitnya satu parameter mutu fisikokimia, teknologi, gizi, atau sensori, serta diterbitkan dalam bahasa Indonesia maupun Inggris. Studi dikecualikan apabila membahas produk selain emulsi daging babi, menggunakan bahan non nabati sebagai perlakuan utama, merupakan artikel tinjauan atau publikasi nonpenelitian asli, maupun tidak menyediakan data eksperimen yang memadai.

Tabel 1. Kriteria inklusi dan eksklusi yang digunakan dalam seleksi studi untuk tinjauan literatur sistematis

Kriteria	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Jenis publikasi	Artikel penelitian asli yang diterbitkan dalam jurnal peer-reviewed	Artikel tinjauan (review), bab buku, prosiding konferensi, editorial, dan publikasi non-penelitian asli lainnya
Jenis produk	Produk emulsi daging babi, termasuk sosis, bakso, patty, nugget, dan produk daging babi berbasis emulsi lainnya	Produk selain daging babi atau produk daging yang bukan berbasis emulsi
Bahan fungsional	Bahan fungsional berbasis nabati, termasuk pati, tepung, serat pangan, protein nabati, hidrokoloid, dan senyawa bioaktif yang berasal dari tumbuhan	Bahan berbasis hewani, aditif sintetis, atau bahan fungsional non nabati sebagai faktor perlakuan utama
Desain penelitian	Penelitian eksperimental yang mengevaluasi pengaruh bahan fungsional berbasis nabati terhadap produk emulsi daging babi	Penelitian tanpa evaluasi eksperimental
Variabel hasil	Penelitian yang melaporkan setidaknya satu parameter mutu fisikokimia, teknologi, gizi, atau sensori	Penelitian yang tidak melaporkan parameter mutu yang relevan atau tidak memiliki data eksperimen yang memadai

Pemilihan studi mengikuti tahapan PRISMA 2020 yang meliputi identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan inklusi (Page et al., 2021). Penyaringan judul,

abstrak, dan artikel teks penuh dilakukan secara independen oleh dua penelaah, sedangkan perbedaan hasil seleksi diselesaikan melalui diskusi hingga mencapai kesepakatan. Dari 659 artikel yang teridentifikasi, 112 artikel duplikat dihapus sehingga tersisa 547 artikel untuk proses penyaringan. Setelah penilaian kelayakan, 25 studi memenuhi seluruh kriteria inklusi dan dimasukkan ke dalam sintesis kualitatif (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram alir PRISMA 2020 pada proses seleksi studi artikel yang mengevaluasi pengaruh bahan fungsional berbasis nabati terhadap karakteristik mutu produk emulsi daging babi

Penilaian Kualitas Studi dan Sintesis Data

Kualitas metodologis setiap studi dievaluasi menggunakan critical appraisal checklist berdasarkan kejelasan desain penelitian, karakteristik sampel, deskripsi perlakuan, parameter mutu yang diukur, serta kelengkapan pelaporan hasil. Risiko bias dinilai secara naratif dengan mempertimbangkan potensi bias seleksi, pengukuran, pelaporan, dan heterogenitas antarpemeriksaan (Page et al., 2021).

Ekstraksi data dilakukan menggunakan formulir terstandarisasi yang mencakup informasi mengenai penulis, tahun publikasi, negara asal, jenis produk, bahan fungsional berbasis tumbuhan, tingkat penambahan, rancangan penelitian, parameter mutu, serta temuan utama. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan narrative evidence synthesis karena heterogenitas desain penelitian, jenis bahan, tingkat substitusi, dan parameter mutu tidak memungkinkan dilakukan meta-analisis kuantitatif (Campbell et al., 2020). Pendekatan ini memungkinkan hasil yang memiliki karakteristik berbeda tetap dibandingkan berdasarkan arah efek, konsistensi temuan, dan fungsi utama bahan.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Penelitian

Sebanyak 25 studi yang dipublikasikan antara tahun 2007–2026 memenuhi kriteria inklusi dan dimasukkan dalam sintesis kualitatif (Tabel 2). Indonesia merupakan kontributor terbesar (8 studi; 32%), diikuti Tiongkok (5 studi; 20%), Korea dan India (masing-masing 3 studi; 12%), Taiwan (2 studi; 8%), serta Rumania, Bulgaria, Thailand,

dan Rwanda masing-masing satu studi. Sebagian besar penelitian menggunakan sosis dan bakso karena karakteristik produk tersebut sangat dipengaruhi oleh stabilitas emulsi, water-holding capacity (WHC), dan tekstur (Pereira et al., 2020; Verma et al., 2015). Parameter mutu yang dievaluasi meliputi WHC, stabilitas emulsi, cooking yield, texture profile analysis (TPA), warna, komposisi proksimat, aktivitas antioksidan, oksidasi lipid, dan karakteristik sensori. Keragaman karakteristik tersebut menjadi dasar penggunaan narrative evidence synthesis, karena hasil tidak memiliki tingkat keseragaman yang memadai untuk dibandingkan melalui satu ukuran efek kuantitatif (Campbell et al., 2020).

Tabel 2. Karakteristik studi yang dimasukkan dalam tinjauan literatur sistematis

No.	Penulis (Tahun)	Negara	Jenis Produk	Bahan Fungsional Berbasis Nabati	Kategori Bahan	Tingkat Penambahan	Parameter Mutu yang Dievaluasi
1	Borşa et al. (2025)	Rumania	Sosis babi	Bubuk limbah rosehip	Antioksidan / Serat	2,7%; 5,5%	pH, warna (L*, a*, b*), tekstur, sensori, polifenol
2	Gao et al. (2026)	Tiongkok	Sosis babi	Pati alami (jagung, kentang, tapioka)	Pengganti lemak	9%	Tekstur, sifat pasting, emulsifikasi
3	Jin et al. (2012)	Korea	Sosis babi	Bubuk ubi jalar ungu	Pewarna / Antioksidan	0,25%; 0,5%	pH, nitrit residu, warna, tekstur, sensori
4	Verma et al. (2015)	India	Patty babi	Bubuk ubi jalar (SPP)	Pengganti lemak	0,5%; 1,0%; 1,5%	pH, stabilitas emulsi, hasil pemasakan, TPA, sensori
5	Pereira et al. (2020)	Tiongkok	Sosis emulsi	Tepung beras, pati tapioka	Agen pengikat	RF, GRF, TS	Hasil pemasakan, stabilitas emulsi, struktur protein
6	Utari et al. (2024)	Indonesia	Bakso babi	Tepung ubi jalar ungu	Pengganti pati	10%; 20%; 30%	Protein, lemak, kadar air, abu, karbohidrat
7	Huang & Chou (2023)	Taiwan	Bakso babi (Kung-wan)	Sorghum Distiller Grains (SDGs)	Pengganti pati	Penggantian 20–100%	Tekstur (TPA), WHC, susut masak, pH, warna
8	Park et al. (2017)	Korea	Patty babi	Bubuk beras hitam	Bahan fungsional	1%; 3%; 5%	Komposisi proksimat, warna, TPA, sensori
9	Sujata et al. (2025)	Indonesia	Bakso babi	Konjak termodifikasi (KGOS)	Pengganti lemak	0,5–2%	Susut masak, kadar lemak, tekstur, sensori
10	Xu et al. (2022)	Tiongkok	Bakso babi	Tepung alfalfa	Serat pangan	0,5–2%	Tekstur, warna, sensori, profil lipid darah (in vivo)
11	Sembong et al. (2019)	Indonesia	Sosis babi	Tepung talas	Pengganti pati	50%; 75%; 100%	Kandungan gizi, serat pangan, amilosa/amilopektin
12	Jin et al. (2014)	Korea	Sosis emulsi	Bubuk bit merah	Pengganti nitrit / Pewarna	0,5%; 1,0%	Warna (kemerahan), TBARS, pH, tekstur
13	Jandyal et al. (2022)	India	Sosis babi	Bubuk dedak oat	Serat pangan	3%; 6%; 9%	Hasil pemasakan, TPA, sensori, stabilitas emulsi
14	Momchilova et al. (2024)	Bulgaria	Bakso babi	Kedelai, spirulina, bubuk jangkrik	Protein alternatif	1%	pH, stabilitas emulsi, TPA, sensori
15	Peka et al. (2021)	Indonesia	Sosis babi	Tepung talas (keladi)	Pengganti pati	50%; 75%; 100%	Sensori (warna, aroma, rasa)
16	Suseno et al. (2007)	Indonesia	Nugget babi	Tepung terigu	Bahan pengisi	10–25%	WHC, komposisi proksimat, kekerasan, sensori
17	Yeung & Huang (2018)	Taiwan	Bakso babi	Whey dan protein kedelai	Pengganti fosfat	2–6%	pH, kadar air, tekstur, sensori, mikrobiologi
18	Havugimana & Nsengiyumva (2023)	Rwanda	Bakso babi	Daun Amaranthus caudatus	Agen nutrisi	Campuran daun	pH, kadar lemak, susut bobot
19	Nensi et al. (2024)	Indonesia	Bakso babi	Tepung ubi jalar ungu	Pengganti pati	2,5%; 5%; 7,5%	pH, aktivitas antioksidan, oksidasi

20	Febri et al. (2019)	Indonesia	Sosis babi	Tepung ubi jalar ungu	Pengganti pati	10%; 20%; 30%	lemak, TPC, Antioksidan, protein, warna, tekstur, rasa
21	Pereira et al. (2016)	Tiongkok	Sosis rendah lemak	Tepung beras	Bahan pengisi / Pengganti lemak	2%; 4%; 6%	Komposisi proksimat, pH, stabilitas emulsi, tekstur
22	Peetitungwong et al. (2020)	Thailand	Patty dan bakso babi	Tepung dedak padi, protein kacang polong	Bahan penambah (extender)	5%; 10%	Hasil pemasakan, retensi lemak, nilai peroksida, sensori
23	Dong et al. (2023)	Tiongkok	Bakso babi	Tepung biji rami (BFF)	Pengganti lemak	5–20%	Profil asam lemak, susut masak, TBARS, warna
24	Mahapatra et al. (2020)	India	Bakso babi	Bubuk belimbing	Antioksidan	1,0%; 1,5%; 2,0%	Kadar MDA, TPC, WHC, tekstur, sensori
25	Lasi et al. (2019)	Indonesia	Bakso babi	Tepung talas	Pengganti pati	25–100%	Elastisitas, pH, kadar air, kadar lemak

Pati dan tepung merupakan kategori yang paling banyak diteliti, yaitu 10 studi (40%), diikuti senyawa bioaktif (6 studi; 24%), serat pangan (3 studi; 12%), protein nabati (2 studi; 8%), serta bahan campuran atau alternatif (4 studi; 16%) (Tabel 3). Dominasi pati dan tepung menunjukkan bahwa penelitian masih terutama berorientasi pada peningkatan karakteristik teknologi, sedangkan protein nabati dan serat pangan relatif kurang diteliti. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang untuk mengembangkan bahan clean-label yang tidak hanya memperbaiki performa teknologi, tetapi juga memberikan manfaat gizi dan fungsional.

Tabel 3. Distribusi kategori bahan fungsional nabati yang diteliti dalam produk emulsi daging babi

Kategori Bahan	Jumlah Studi (n)	Persentase (%)	Fungsi Teknologi Utama
Pati dan tepung	10	40	Pengganti lemak, pengganti pati, agen pengikat
Senyawa bioaktif	6	24	Antioksidan alami, penstabil warna
Serat pangan	3	12	Retensi air, peningkatan nilai gizi
Protein nabati	2	8	Penguat protein, pengganti fosfat
Bahan campuran/alternatif	4	16	Berbagai fungsi teknologi
Total	25	100	

Dominasi bahan berbasis pati dan tepung dapat dikaitkan dengan luasnya fungsi teknologinya, termasuk sebagai pengganti lemak, pengganti pati, dan agen pengikat. Sementara itu, protein nabati masih relatif kurang diteliti meskipun memiliki potensi sebagai alternatif fosfat sintetis, sedangkan serat pangan menawarkan peluang untuk meningkatkan nilai gizi sekaligus mempertahankan karakteristik teknologi. Dengan demikian, distribusi studi menunjukkan bahwa penelitian yang tersedia belum sepenuhnya seimbang antar-kategori bahan, sehingga kekuatan bukti untuk setiap kategori juga perlu diinterpretasikan dengan mempertimbangkan jumlah dan karakteristik studi yang tersedia.

Sintesis Komparatif Fungsi dan Konsistensi Bukti

Karena heterogenitas jenis bahan, tingkat substitusi, formulasi, dan parameter mutu, sintesis dilakukan menggunakan vote counting yang dipadukan dengan narrative evidence synthesis (Campbell et al., 2020). Pendekatan ini menekankan konsistensi arah temuan, bukan besarnya efek antarpelelitian, sehingga lebih sesuai dengan karakteristik bukti yang tersedia. Senyawa bioaktif menunjukkan konsistensi bukti tertinggi, dengan seluruh studi melaporkan efek positif terutama terhadap stabilitas oksidatif dan warna. Serat pangan juga menunjukkan hasil konsisten terhadap retensi air dan cooking yield, sedangkan sembilan dari sepuluh studi mengenai pati dan tepung melaporkan efek positif terhadap karakteristik

teknologi. Protein nabati menunjukkan hasil positif pada seluruh studi yang tersedia, tetapi kekuatan buktinya masih terbatas karena hanya dua studi yang memenuhi kriteria inklusi.

Tabel 4. Sintesis vote-counting mengenai efek bahan fungsional berbasis tumbuhan yang dilaporkan

Kategori Bahan	Studi yang Melaporkan Efek Positif	Studi yang Melaporkan Hasil Campuran	Studi yang Melaporkan Efek Negatif	Kekuatan Bukti Keseluruhan
Pati dan tepung	9	1	0	Kuat
Serat pangan	3	0	0	Kuat
Protein nabati	2	0	0	Sedang
Senyawa bioaktif	6	0	0	Sangat kuat

Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsistensi bukti tidak selalu mencerminkan keluasan fungsi. Senyawa bioaktif unggul pada stabilitas oksidatif dan warna, pati dan tepung pada WHC, cooking yield, dan stabilitas emulsi, serat pangan pada kombinasi karakteristik teknologi dan nilai gizi, sedangkan protein nabati berpotensi memperkuat struktur emulsi dan menggantikan fosfat. Dengan demikian, Tabel 5 disajikan sebagai sintesis komparatif fungsi, keunggulan, dan keterbatasan, bukan sebagai peringkat absolut efektivitas antar-kategori.

Tabel 5. Sintesis komparatif fungsi dan konsistensi bukti bahan fungsional berbasis tumbuhan

Peringkat	Kategori Bahan	Kelebihan Utama	Keterbatasan Utama
1	Senyawa bioaktif	Aktivitas antioksidan yang sangat baik serta mampu menjaga stabilitas warna	Peningkatan tekstur dan daya ikat air (WHC) masih terbatas
2	Pati dan tepung	Sangat efektif meningkatkan daya ikat air (WHC), cooking yield, dan stabilitas emulsi	Substitusi dalam jumlah berlebihan dapat menurunkan kualitas sensori
3	Protein nabati	Memperkuat jaringan protein dan memperbaiki tekstur	Jumlah penelitian yang tersedia masih terbatas
4	Serat pangan	Memberikan peningkatan simultan pada sifat teknologi dan nilai gizi	Penggunaan pada kadar tinggi dapat berdampak negatif terhadap tekstur dan warna

Secara keseluruhan, tidak terdapat satu kategori bahan yang mampu mengoptimalkan seluruh atribut mutu secara bersamaan. Perbedaan fungsi tersebut mendukung pendekatan formulasi multifungsi sebagai strategi yang lebih menjanjikan dibandingkan penggunaan satu bahan secara tunggal.

Pengaruh dan Mekanisme Bahan Fungsional Berdasarkan Kategori

Pati dan tepung. Bahan berbasis pati dan tepung merupakan kategori dominan (40%) dan terutama digunakan sebagai fat replacers, pengganti pati, atau binding agents. Sebagian besar studi melaporkan peningkatan WHC, cooking yield, stabilitas emulsi, dan tekstur setelah penggunaan tepung beras, pati tapioka, tepung talas, tepung ubi jalar, dan sorghum distiller grains (Gao et al., 2026; Pereira et al., 2016, 2020; Verma et al., 2015). Efek tersebut berkaitan dengan penyerapan air dan gelatinisasi pati yang meningkatkan viskositas fase kontinu serta membentuk jaringan komposit bersama protein miofibril (Gao et al., 2026; Pereira et al., 2020; Verma et al., 2015). Pada formulasi rendah lemak, penggunaan hidrokoloid dan polisakarida juga dapat membantu mempertahankan karakteristik struktur dan kualitas produk melalui pengaturan fase air dan interaksi dengan protein (Geng et al., 2023; Li et al., 2023). Namun, substitusi tinggi dapat menurunkan kualitas sensori, sedangkan tingkat moderat dapat memberikan keseimbangan antara

karakteristik teknologi dan penerimaan konsumen (Febri et al., 2019; Lasi et al., 2019; Nensi et al., 2024; Peka et al., 2021).

Serat pangan. Dedak oat, tepung alfalfa, dan tepung dedak padi meningkatkan WHC, retensi lemak, cooking yield, serta kandungan serat pangan pada produk emulsi daging babi (Jandyal et al., 2022; Peetitungwong et al., 2020; Xu et al., 2022). Secara konseptual, hasil tersebut sejalan dengan tinjauan yang menunjukkan bahwa serat pangan dapat memengaruhi retensi air, tekstur, komposisi, dan atribut fungsional produk daging, meskipun responsnya sangat dipengaruhi oleh sumber dan konsentrasi serat (Mishra et al., 2023). Fungsi tersebut terutama berkaitan dengan kemampuan serat mengikat air dan minyak sehingga mendukung stabilitas sistem emulsi. Jandyal et al. (2022) melaporkan peningkatan cooking yield, stabilitas emulsi, dan tekstur, sedangkan Peetitungwong et al. (2020) menunjukkan peningkatan retensi lemak dan nilai gizi. Namun, penggunaan tepung alfalfa pada konsentrasi tinggi dapat menurunkan warna dan tekstur, menunjukkan adanya trade-off antara peningkatan nilai gizi dan penerimaan sensori (Xu et al., 2022).

Protein nabati. Hanya dua studi yang secara khusus mengevaluasi protein nabati, tetapi keduanya menunjukkan peningkatan stabilitas emulsi, tekstur, retensi kelembapan, dan kualitas sensori (Momchilova et al., 2024; Yeung & Huang, 2018). Bukti dari sistem hybrid meat emulsions juga menunjukkan bahwa konsentrat protein nabati dapat digunakan sebagai substituen parsial dan tetap memberikan performa fungsional pada matriks emulsi (Santos et al., 2022). Protein nabati berpotensi memperkuat matriks melalui interaksi dengan protein miofibril selama pencacahan dan pemanasan. Yeung & Huang (2018) menunjukkan bahwa protein kedelai dapat menggantikan fosfat tanpa menurunkan tekstur dan sensori, sedangkan Momchilova et al. (2024) melaporkan bahwa sumber protein alternatif dapat meningkatkan performa teknologi tanpa menurunkan penerimaan konsumen secara signifikan. Kajian yang lebih baru menempatkan fungsionalitas protein, kemampuan membentuk dan menstabilkan emulsi, serta interaksinya dengan komponen daging sebagai faktor penting dalam pengembangan sosis emulsi berbasis protein alternatif (Zhu et al., 2026). Namun, keterbatasan jumlah studi dan variasi sumber protein menyebabkan bukti mengenai efektivitasnya masih perlu diperkuat.

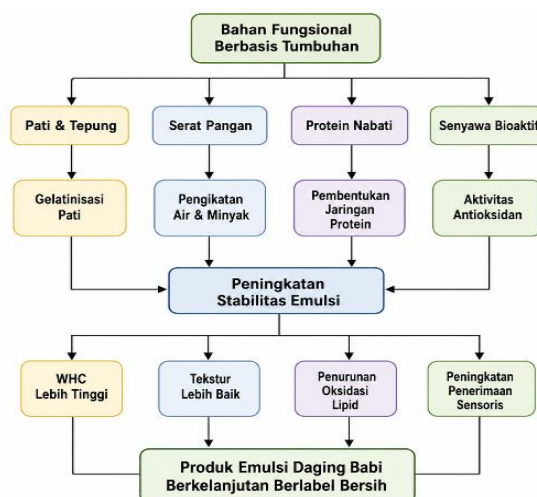
Senyawa bioaktif. Senyawa bioaktif dari ubi jalar ungu, bit merah, belimbing, dan biji rami menunjukkan konsistensi tinggi dalam meningkatkan stabilitas oksidatif dan mempertahankan warna (Dong et al., 2023; Febri et al., 2019; Jin et al., 2014; Mahapatra et al., 2020; Nensi et al., 2024). Bukti tambahan dari bahan nabati lain memperlihatkan pola yang serupa. Ekstrak daun jambu biji dan daun *Glochidion wallichianum*, misalnya, telah dievaluasi sebagai sumber antioksidan alami pada sistem sosis dan menunjukkan potensi dalam mengendalikan oksidasi selama penyimpanan (Tran et al., 2020; Wongnen et al., 2022). Potensi tersebut juga terlihat pada pemanfaatan bunga pisang dan ekstrak buah balloon pepper, yang menunjukkan bahwa sumber senyawa bioaktif yang berbeda dapat memberikan perlindungan oksidatif sekaligus mempertahankan penerimaan produk (Cabral et al., 2022; Rodrigues et al., 2020). Aktivitas tersebut berkaitan dengan kandungan polifenol, flavonoid, betalain, antosianin, dan senyawa fitokimia lainnya yang menghambat reaksi oksidatif dan pembentukan produk oksidasi seperti TBARS (Dong et al., 2023; Jin et al., 2014; Mahapatra et al., 2020). Meskipun demikian, konsentrasi tinggi

dapat memengaruhi rasa dan warna, sehingga penggunaan bahan bioaktif perlu dioptimalkan untuk menyeimbangkan kapasitas antioksidan dan penerimaan sensori.

Integrasi Efek dan Potensi Formulasi Sinergis

Sintesis menunjukkan bahwa keempat kategori bahan memiliki fungsi yang saling melengkapi. Pati dan tepung terutama berperan dalam stabilitas struktur, WHC, dan cooking yield; serat pangan mendukung retensi air sekaligus nilai gizi; protein nabati memperkuat matriks protein; sedangkan senyawa bioaktif meningkatkan stabilitas oksidatif dan mempertahankan warna (Dong et al., 2023; Jandyal et al., 2022; Verma et al., 2015; Yeung & Huang, 2018). Arah ini juga didukung oleh penelitian pada bahan fungsional lain, seperti hemp oil pada bakso babi dan kombinasi goat milk protein–ginseng pada sosis emulsi, yang menunjukkan bahwa satu formulasi dapat memengaruhi beberapa atribut mutu sekaligus selama penyimpanan (Montowska et al., 2025; Oh et al., 2023). Dengan demikian, pendekatan multifungsi lebih relevan daripada memilih bahan hanya berdasarkan satu parameter mutu.

Stabilitas emulsi menjadi mekanisme penghubung berbagai atribut tersebut melalui interaksi gelatinisasi pati, jaringan protein, pengikatan air dan minyak oleh serat, serta perlindungan oksidatif oleh senyawa bioaktif. Pada tingkat formulasi, interaksi tersebut menunjukkan bahwa bahan pengemulsi, pengikat air, dan antioksidan dapat bekerja pada mekanisme yang berbeda tetapi saling melengkapi (Adiamo et al., 2023; Geng et al., 2023; Li et al., 2023). Dengan demikian, kombinasi beberapa kategori bahan berpotensi menghasilkan keseimbangan karakteristik teknologi, gizi, sensori, dan stabilitas penyimpanan yang lebih baik dibandingkan penggunaan bahan tunggal.



Gambar 2. Kerangka konseptual yang mengilustrasikan mekanisme fungsional bahan berbasis tumbuhan pada produk emulsi daging babi

Implikasi Praktis dan Arah Penelitian Masa Depan

Temuan menunjukkan bahwa pemilihan bahan fungsional perlu disesuaikan dengan atribut mutu yang menjadi target formulasi. Pati dan tepung sesuai untuk peningkatan karakteristik teknologi, serat pangan untuk kombinasi fungsi teknologi dan gizi, protein nabati untuk penguatan struktur dan alternatif fosfat, sedangkan senyawa bioaktif untuk

stabilitas oksidatif dan warna. Pengembangan formulasi dapat mempertimbangkan penggunaan hidrokoloid sebagai pengatur struktur dan retensi air, sementara protein nabati dapat diarahkan untuk memperkuat matriks emulsi (Geng et al., 2023; Zhu et al., 2026). Oleh karena itu, kombinasi beberapa kategori bahan merupakan pendekatan yang potensial untuk menghasilkan produk emulsi daging babi clean-label dengan fungsi yang lebih seimbang.

Namun, heterogenitas sumber bahan, tingkat penambahan, formulasi, kondisi pengolahan, dan metode evaluasi masih membatasi perbandingan langsung antarstudi dan belum memungkinkan meta-analisis kuantitatif. Penelitian selanjutnya perlu menggunakan protokol yang lebih terstandarisasi dan mengevaluasi kombinasi bahan fungsional secara sistematis untuk memperoleh bukti yang lebih kuat mengenai efek sinergis terhadap karakteristik teknologi, gizi, sensori, dan stabilitas penyimpanan.

4. Simpulan

Tinjauan sistematis terhadap 25 studi menunjukkan bahwa bahan fungsional nabati memiliki peran komplementer dalam produk emulsi daging babi: pati dan tepung mendukung WHC, cooking yield, dan stabilitas emulsi; serat pangan meningkatkan retensi air dan nilai gizi; protein nabati memperkuat struktur dan tekstur; sedangkan senyawa bioaktif menjaga stabilitas oksidatif dan warna. Novelty kajian ini terletak pada integrasi keempat kategori dalam kerangka yang menghubungkan fungsi bahan, mekanisme, dan atribut mutu, sehingga memperkuat pemahaman teoretis bahwa efektivitas bahan perlu dinilai secara multidimensi, bukan berdasarkan satu parameter. Kerangka ini juga dapat mendukung pemilihan bahan untuk pengembangan produk clean-label yang seimbang secara teknologi, gizi, sensori, dan keberlanjutan.

Secara kebijakan, temuan ini dapat menjadi dasar evidence-informed untuk evaluasi dan standarisasi bahan fungsional nabati, terutama terkait keamanan, metode pengujian, klaim fungsional, dan penerimaan konsumen. Penelitian selanjutnya perlu memvalidasi kombinasi bahan dan potensi sinerginya melalui eksperimen terstandar serta mengevaluasi stabilitas, keamanan, penerimaan konsumen, kelayakan ekonomi, dan scale-up untuk menghasilkan formulasi yang aplikatif pada skala industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Peternakan Universitas Papua atas dukungan akademik serta kepada para peneliti yang karya ilmiahnya menjadi dasar penyusunan tinjauan literatur sistematis ini.

5. Referensi

- Adiamo, O. Q., Netzel, M. E., Hoffman, L. C., Gidley, M. J., Osborne, S., & Sultanbawa, Y. (2023). Effects of incorporating processed Acacia seed as an emulsifying agent on the quality attributes of beef sausage. *Meat Science*, 197, 109069. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109069>
- Borşa, A. R., Fogarasi, M., Ranga, F., Borşa, A., Tanislav, A. E., Mureşan, V., & Semeniuc, C. A. (2025). The Use of a Powder Obtained from Rosehip Waste to Reformulate Pork Sausages: Impacts on Their Quality. *Foods*, 14(6), 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods14061067>
- Cabral, N. O., de Oliveira, R. F., Henry, F. C., de Oliveira, D. B., Santos Junior, A. C., Maia Junior, J. A., & Martins, M. L. L. (2022). Effect of the fruit aqueous extract of balloon pepper (*Capsicum baccatum* var. *Pendulum*) on lipid oxidation, microbiological quality and consumer acceptance of fresh pork sausage and smoked. *Food Science and Technology*, 42, e09221. <https://doi.org/10.1590/fst.09221>

- Campbell, M., McKenzie, J. E., Sowden, A., Katikireddi, S. V, Brennan, S. E., Ellis, S., Hartmann-Boyce, J., Ryan, R., Shepperd, S., Thomas, J., Welch, V., & Thomson, H. (2020). Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: Reporting guideline. *BMJ*, 368, l6890. <https://doi.org/10.1136/bmj.l6890>
- Dong, P., Xiao, L., Fan, W., Yang, H., Xu, C., Qiao, M., Zhu, K., Wu, H., & Deng, J. (2023). Effect of fat replacement by flaxseed flour on the quality parameters of pork meatballs. *Food Science and Technology International*, 31(1), 48–58. <https://doi.org/10.1177/10820132231173158>
- Febri, Y., Malelak, G. E. M., & Noach, Y. R. (2019). Pengaruh Penggunaan Tepung Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* Lam. Poir.) sebagai Pengganti Tepung Tapioka terhadap Kualitas Sosis Babi. *Jurnal Peternakan Lahan Kering*, 1(3), 475–482.
- Gao, L., Chen, W., Lin, Z., Ye, S., Wang, H., Lin, G., Xu, D., Chi, C., Xiang, L., & Zhou, Y. (2026). Functional Properties and Mechanistic Study of Native Starches as Fat Replacers in Low-Fat Pork Sausages. *Foods*, 15(8), 1–17. <https://doi.org/10.3390/foods15081428>
- Geng, X., Zhao, Y., Zhao, N., Zhu, Q., & Zhang, M. (2023). Quality characteristics and gastrointestinal fate of low fat emulsified sausage formulated with konjac glucomannan/oat beta-glucan composite hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 239, 124251. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124251>
- Havugimana, S., & Nsengiyumva, D. S. (2023). Physicochemical characteristics of pork meatballs mixed with *Amaranthus caudatus*. *Multidisciplinary Science Journal*, 5(1). <https://doi.org/10.31893/multiscience.2023002>
- Huang, Y. C., & Chou, C. F. (2023). Replacement of Potato Starch with Sorghum Distiller Grains Improves the Quality Characteristics of Emulsified Pork Meatballs. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6679514>
- Jandyal, M., Malav, O. P., Mehta, N., & Wagh, R. V. (2022). Quality Characteristics of Functional Pork Sausages Incorporated with Oat Bran Powder. *Journal of Meat Science*, 17(1), 1–7. <https://doi.org/10.48165/jms.2022.1701>
- Jin, S. K., Choi, J. S., Moon, S. S., Jeong, J. Y., & Kim, G. D. (2014). The assessment of red beet as a natural colorant, and evaluation of quality properties of emulsified pork sausage containing red beet powder during cold storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 34(4), 472–481. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.4.472>
- Jin, S. K., Kim, Y. J., Park, J. H., Hur, I. C., Nam, S. H., & Shin, D. (2012). Effects of purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* Cultivar Ayamurasaki) powder addition on color and texture properties and sensory characteristics of cooked pork sausages during storage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(9), 1329–1337. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12125>
- Lasi, C. Y., Sipahelut, G. M., & Kale, P. R. (2019). Pengaruh Substitusi Tepung Tapioka dengan Tepung Talas terhadap Karakteristik Sifat Fisik, Kimia dan Organoleptik Bakso Babi. *Jurnal Peternakan Lahan Kering*, 1(4), 648–656.
- Li, Y., Guo, J., Wang, Y., Zhang, F., Chen, S., Hu, Y., & Zhou, M. (2023). Effects of hydrocolloids as fat-replacers on the physicochemical and structural properties of salt-soluble protein isolated from water-boiled pork meatballs. *Meat Science*, 204, 109280. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109280>
- Mahapatra, G., Biswas, S., Patra, G., & Bhattacharya, D. (2020). Improving shelf-life of raw pork and pork meatballs by starfruit (*Averrhoa carambola*) powder supplementation. *Indian Journal of Animal Sciences*, 90(1), 74–79. <https://doi.org/10.56093/ijans.v90i1.98223>
- Manassis, G., Kalogianni, A. I., Lazou, T., Moschovas, M., Bossis, I., & Gelasakis, A. I. (2020). Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. *Antioxidants*, 9(12), 1215. <https://doi.org/10.3390/antiox9121215>
- Mishra, B. P., Mishra, J., Paital, B., Rath, P. K., Jena, M. K., Reddy, B. V. V, Pati, P. K., Panda, S. K., & Sahoo, D. K. (2023). Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: A review. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1275341. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1275341>
- Momchilova, M., Gradinarska-Ivanova, D., Yordanov, D., Zsivanovits, G., & Pats, N. (2024). Effect of different protein sources (plant, cricket powder and microalgae) on the technological and functional properties and sensory characteristics of pork meatballs. *Meat Technology*, 65(1), 25–35. <https://doi.org/10.18485/meattech.2024.65.1.3>

- Montowska, M., Kotecka-Majchrzak, K., Kasałka-Czarna, N., Mikołajczak, B., Szychaj, A., & Grygier, A. (2025). Changes in physicochemical, textural, and sensorial properties of pork meatballs made with the addition of hemp oil during storage. *Food Science and Technology International*, 31(5), 405–414. <https://doi.org/10.1177/10820132231211936>
- Nensi, W., Noach, Y. R., & Armadianto, H. (2024). Kualitas Kimia dan Total Plate Count (TPC) Bakso Daging Babi Yang Diproses Menggunakan Tepung Ubi Jalar Ungu Sebagai Substitusi Tapioka. *COMSERVA: Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 4(1), 238–246. <https://doi.org/10.59141/comserva.v4i1.1304>
- Oh, S., Park, S., Kim, Y. A., Park, Y., Park, G., Lee, J., Seo, H., & Choi, J. (2023). Effect of adding goat milk protein and ginseng powder on quality and storage characteristics of emulsion-type pork sausages. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2758357. <https://doi.org/10.1155/2023/2758357>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & et al. (2021). The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *The BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Park, S. Y., Lee, J. W., Kim, G. W., & Kim, H. Y. (2017). Effect of black rice powder on the quality properties of pork patties. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(1), 71–78. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.1.71>
- Peetitungwong, S., Chonmanawat, M., Santiwattana, P., Sirisukpornchai, T., Kaewsaad, T., & Theprugsa, P. (2020). The Usage of Rice Bran Flour and Pea Protein in Pork Patties and Pork Meatballs. *International Journal of Agricultural Technology*, 16(2), 329–338.
- Peka, S. M., Malelak, G. E. M., & Kale, P. R. (2021). Pengaruh Penggunaan Tepung Keladi (*Colocasia Esculenta*) sebagai Pengganti Tapioka terhadap Kualitas Organoleptik Sosis Babi Masak (The Effect of Using Taro Flour (*Colocasia esculenta*) as Substitution of Tapioca on Organoleptics Quality of Pork Sausage). *Jurnal Nukleus Peternakan*, 8(1), 1–5.
- Pereira, J., Hu, H., Xing, L., Zhang, W., & Zhou, G. (2020). Influence of rice flour, glutinous rice flour, and tapioca starch on the functional properties and quality of an emulsion-type cooked sausage. *Foods*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/foods9010009>
- Pereira, J., Zhou, G., & Zhang, W. (2016). Effects of Rice Flour on Emulsion Stability, Organoleptic Characteristics and Thermal Rheology of Emulsified Sausage. *Journal of Food and Nutrition Research*, 4(4), 216–222. <https://doi.org/10.12691/jfnr-4-4-4>
- Rebezov, M., Neverova, O., Nesterenko, A., Avtuyhova, O., Zabalueva, Y., & Prilepa, M. (2021). Plant ingredients in the formulation of meat products: Review. *International Journal of Modern Agriculture*, 10(2), 1700–1710.
- Rodrigues, A. S., Kubota, E. H., da Silva, C. G., dos Santos Alves, J., Hautrive, T. P., Rodrigues, G. S., & Campagnol, P. C. B. (2020). Banana inflorescences: A cheap raw material with great potential to be used as a natural antioxidant in meat products. *Meat Science*, 161, 107991. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107991>
- Santos, M. dos, Rocha, D. A. V. F. da, Bernardinelli, O. D., Oliveira Júnior, F. D., de Sousa, D. G., Sabadini, E., da Cunha, R. L., Trindade, M. A., & Pollonio, M. A. R. (2022). Understanding the performance of plant protein concentrates as partial meat substitutes in hybrid meat emulsions. *Foods*, 11(21), 3311. <https://doi.org/10.3390/foods11213311>
- Sembong, R. S., Peka, S. M., Kale, R. P., & Malelak, G. E. M. (2019). Kualitas Sosis Babi yang Diberi Tepung Talas sebagai Pengganti Tepung Tapioka (Quality of Pork Sausage Using Taro Meal Substituting Tapioca Meal). *Jurnal Nukleus Peternakan*, 6(1), 1–9.
- Sujata, N. N., Widarta, I. W. R., & Hapsari, N. M. I. (2025). Aplikasi Konjak Glukomanan Termodifikasi Oktenil Suksinat Anhidrat (KGOS) sebagai Fat Replacer pada Pembuatan Bakso Babi (Application of Modified Konjac Glucomannan with Octenyl Succinic Anhydride (KGOS) as a Fat Replacer in the Production of Pork Meatballs). *ITEPA: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan*, 14(4), 683–704.
- Suseno, T. I. P., Surjoseputro, S., & Fransisca, I. M. (2007). Pengaruh Jenis Bagian Daging Babi dan Penambahan Tepung Terigu terhadap Sifat Fisikomiawi Pork Nugget. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 6(2), 15–25.
- Tran, T. T. T., Ton, N. M. N., Nguyen, T. T., Le, V. V. M., Sajeev, D., Schilling, M. W., & Dinh, T. T. N. (2020). Application of natural antioxidant extract from guava leaves (*Psidium guajava* L.) in fresh pork sausage. *Meat Science*, 165, 108106. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108106>

- Utari, M. K., Noach, Y. R., & Sulmiyati. (2024). Karakteristik Kimia Bakso Daging Babi Yang Di Proses Menggunakan Tepung Ubi Jalar Ungu Sebagai Pengganti Tapioka. *COMSERVA: Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 4(1), 66–74. <https://doi.org/10.59141/comserva.v4i1.1305>
- Verma, A. K., Chatli, M. K., Kumar, D., Kumar, P., & Mehta, N. (2015). Efficacy of sweet potato powder and added water as fat replacer on the quality attributes of low-fat pork patties. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(2), 252–259. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0291>
- Wongnen, C., Ruzzama, N., Chaijan, M., Cheong, L.-Z., & Panpipat, W. (2022). Glochidion wallichianum leaf extract as a natural antioxidant in sausage model system. *Foods*, 11(11), 1547. <https://doi.org/10.3390/foods11111547>
- Xu, Z., Du, Y., Li, N., Geng, H., Ali, Q., Li, X., Gao, Y., Wang, Y., Xing, R., Wu, J., Cui, F., Wang, C., Zhu, X., Cui, Y., Li, D., & Shi, Y. (2022). Effects of alfalfa meal on quality and function of pork meatballs. *Food Science and Nutrition*, 10(8), 2601–2610. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2865>
- Yeung, C. K., & Huang, S. C. (2018). Effects of Food Proteins on Sensory and Physico-Chemical Properties of Emulsified Pork Meatballs. *Journal of Food and Nutrition Research*, 6(1), 8–12. <https://doi.org/10.12691/jfmr-6-1-2>
- Zhu, Z., Wang, H., Zhang, X., Li, G., & Huang, M. (2026). Beyond animal proteins: Insights into the functionality, quality impact, and innovation trends of plant-based proteins in emulsified sausages. *Food Research International*, 230, 118556. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.118556>