



Inovasi Pengelolaan Limbah Pangan dan Implikasinya Terhadap Ketahanan Pangan: Systematic Literatur Review

Food Waste Management Innovations and Implications for Food Security: A Systematic Literature Review

Elya Antariksana Bachmida^{1*}, Nur Afni¹

¹Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram

*Corresponding Author: elya.antariksana@staff.unram.ac.id

Artikel Review

ABSTRAK

Article History:

Received: 05 Sep, 2025

Revised: 04 Oct, 2025

Accepted: 17 Nov, 2025

Kata Kunci:

Limbah pangan;

Inovasi;

Ketahanan pangan;

Ekonomi sirkular;

Pangan berkelanjutan

Keywords:

Food waste;

Innovation;

Food security;

Circular economy;

Sustainable food

DOI: [10.56338/jks.v8i11.8963](https://doi.org/10.56338/jks.v8i11.8963)

Limbah pangan merupakan tantangan besar dalam sistem pangan global karena berdampak terhadap ketahanan pangan, kesehatan masyarakat, dan keberlanjutan lingkungan. Kajian ini bertujuan untuk meninjau secara sistematis berbagai pendekatan inovatif dalam pengelolaan limbah pangan dan implikasinya terhadap ketahanan pangan di Indonesia pada periode 2016–2025. Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang mengacu pada pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Literatur diperoleh melalui basis data Google Scholar, SINTA, dan Scopus, dengan 14 artikel ilmiah terpilih yang memenuhi kriteria inklusi. Hasil kajian menunjukkan bahwa pendekatan inovatif dalam pengelolaan limbah pangan di Indonesia meliputi inovasi bioteknologi melalui fermentasi, biokonversi, dan produksi pangan fungsional dari bahan sisa seperti okara, limbah udang, limbah cangkang rajungan, ikan patin, kulit pisang, dan umbi lokal, inovasi rekayasa teknologi dan material seperti bioplastik, *edible film*, dan teknologi pengolahan rendah emisi. Inovasi ini mampu menekan limbah sekaligus menghasilkan produk bergizi tinggi dan memperkuat sistem pangan yang bersih, aman, dan ramah lingkungan. Kajian ini menegaskan bahwa inovasi pengelolaan limbah pangan memiliki peran strategis dalam membangun sistem pangan berkelanjutan yang mendukung ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat Indonesia.

ABSTRACT

Food waste represents a major challenge within the global food system due to its significant impacts on food security, public health, and environmental sustainability. This study systematically reviews various innovative approaches to food waste management and their implications for food security in Indonesia during the period 2016–2025. The research employed a *Systematic Literature Review* (SLR) method following the PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) guidelines. Relevant literature was collected from Google

Scholar, SINTA, and Scopus, resulting in 14 selected scientific articles that met the inclusion criteria. The findings reveal that innovative approaches to food waste management in Indonesia encompass biotechnological innovations through fermentation, bioconversion, and the development of functional foods derived from by-products such as okara, shrimp waste, crab shell waste, catfish, banana peel, and local tubers, as well as technological and material engineering innovations such as bioplastics, edible films, and low-emission processing technologies. These innovations effectively reduce waste generation while producing nutrient-rich products and strengthening a food system that is clean, safe, and environmentally friendly. This study underscores the strategic role of food waste management innovation in building a sustainable food system that enhances both food security and public health in Indonesia.

PENDAHULUAN

Limbah pangan (*food waste*) masih menjadi perhatian utama dalam sistem pangan global. Menurut FAO (2021), sekitar 1,3 miliar ton pangan atau sepertiga dari total produksi pangan dunia terbuang setiap tahun. Di Indonesia, permasalahan ini semakin kompleks karena tingginya produksi pangan lokal yang belum diimbangi dengan sistem distribusi dan pengolahan limbah yang efisien (BAPPENAS, 2022). Selain merugikan secara ekonomi, akumulasi limbah pangan menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan, seperti munculnya gas metana, pencemaran air tanah, serta berkembangnya mikroorganisme patogen seperti *Salmonella spp.*, *E. coli*, dan *Clostridium botulinum* (WHO, 2023). Kondisi ini berpotensi meningkatkan insiden penyakit bawaan pangan (*foodborne diseases*) terutama di kawasan padat penduduk dan lingkungan dengan sanitasi buruk (Luning et al., 2021).

Namun, dalam perspektif ilmu pangan modern, limbah pangan tidak hanya dipandang sebagai sisa buangan, melainkan sumber daya sekunder yang masih memiliki potensi nilai tambah tinggi. Banyak limbah organik yang mengandung senyawa bioaktif, serat pangan, protein, atau polifenol yang dapat dikembangkan menjadi pangan fungsional, pakan ternak, biogas, atau bioplastik ramah lingkungan (Li et al., 2021; Asghar et al., 2023). Pendekatan ini dikenal sebagai valorisasi limbah pangan (*food waste valorization*) yang menjadi inti dari konsep ekonomi sirkular (*circular economy*) dalam sistem pangan berkelanjutan (Gustavsson et al., 2020). Di Indonesia, sejumlah penelitian telah mengeksplorasi berbagai inovasi pengelolaan limbah pangan lokal, misalnya ampas tahu (okara) diolah menjadi substrat fermentasi untuk menghasilkan *nattokinase* (Li et al., 2021) dan *mannoprotein* bernilai ekonomi (Wahyudi et al., 2024), limbah cair tahu diolah menggunakan kombinasi *adsorpsi–Fenton–ultrafiltrasi* untuk menurunkan COD hingga 95% (Hardyanti et al., 2024), limbah minyak Gac digunakan sebagai bahan baku pembuatan *edible film* antimikroba (Tran et al., 2024), kulit buah pisang, dan daun kelor dimanfaatkan sebagai sumber serat pangan dan bahan tinggi protein, serat dan (Kezer et al., 2025; Angelina, Swasti & Pranata., 2021). Inovasi tersebut menunjukkan bahwa pendekatan pengelolaan limbah pangan dapat menghasilkan nilai tambah ekonomi sekaligus menurunkan dampak kesehatan lingkungan. Pemanfaatan limbah pangan menjadi produk fungsional, bioenergi, dan bahan

kemasan biodegradable juga mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) terutama SDG 2 (*Zero Hunger*), SDG 3 (*Good Health and Well-Being*), dan SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*) (UNDP, 2023).

Namun, penerapan inovasi tersebut masih rendah di tingkat industri kecil maupun masyarakat. Beberapa faktor penghambat di antaranya adalah rendahnya literasi teknologi, keterbatasan modal dan fasilitas, serta kurangnya regulasi mengenai keamanan produk hasil olahan limbah pangan (Kurnia, Harits & Cahyo, 2025; Puspitasari et al., 2021). Oleh karena itu, penguatan kapasitas kelembagaan, kolaborasi riset, dan kebijakan insentif menjadi hal penting agar inovasi ini dapat diimplementasikan secara luas. Berdasarkan latar belakang tersebut, kajian sistematis ini disusun dengan tujuan untuk mengidentifikasi berbagai pendekatan inovatif dalam pengelolaan limbah pangan di Indonesia selama tahun 2016–2025 dan menilai implikasi inovasi tersebut terhadap ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat. Kajian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dan praktis bagi akademisi, pembuat kebijakan, serta pelaku industri pangan dalam upaya membangun sistem pangan yang lebih efisien, sehat, dan berkelanjutan.

METODE

Desain kajian

Kajian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengikuti tahapan PRISMA 2020 (Page et al., 2021). Pendekatan ini meliputi identifikasi (pencarian artikel dari berbagai basis data ilmiah), seleksi (penyaringan artikel berdasarkan relevansi judul, abstrak, dan isi), kelayakan (eligibility), dan inklusi (pemilihan akhir artikel yang dianalisis secara mendalam). Pencarian literatur dilakukan pada tiga basis data ilmiah yang mencakup publikasi nasional dan internasional, yaitu Google scholar, SINTA, dan Scopus. Proses pencarian dilakukan pada periode 2016-2025.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi artikel dalam kajian ini mencakup:

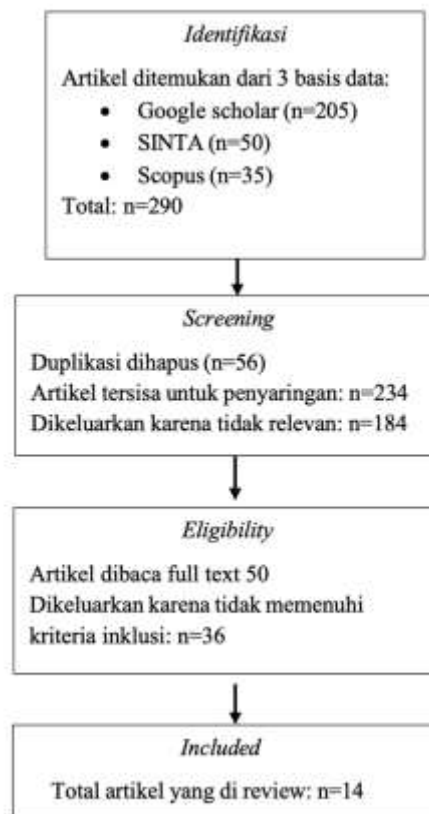
1. Artikel ilmiah (*research article*, *review*, atau *case study*) yang membahas pengelolaan limbah pangan dan inovasi terkait di Indonesia.
2. Terbit dalam rentang waktu 2016–2025.
3. Dipublikasikan pada jurnal yang terindeks di Google Scholar, SINTA, atau Scopus.
4. Mengandung data empiris atau sintesis teoritik yang menjelaskan implikasi terhadap ketahanan pangan
5. Dapat diakses dalam teks lengkap (*full text*) dalam Bahasa Indonesia atau Inggris,

Sedangkan kriteria eksklusi meliputi:

1. Artikel yang tidak relevan dengan topik (misalnya hanya membahas limbah nonpangan).
2. Artikel tanpa data empiris atau tidak melalui *peer review*.
3. Publikasi berupa laporan proyek, tesis, atau prosiding tanpa DOI resmi.

Penilaian kualitas

Tahapan seleksi dilakukan secara sistematis seperti diagram berikut:



Gambar 1. Diagram PRISMA

Analisis Data

Data dianalisis dengan pendekatan analisis tematik (*thematic synthesis*) untuk mengidentifikasi pola-pola inovasi, nilai tambah, dan dampak kesehatan masyarakat. Empat kategori utama digunakan dalam proses analisis: (1) Inovasi teknologi pengolahan limbah pangan (biokonversi, fermentasi, pengeringan, dan adsorpsi), (2) Pemanfaatan limbah untuk produk fungsional (3) Rekayasa material berkelanjutan (bioplastik, bioenergi), (4) Pendekatan sosial dan kebijakan ekonomi sirkular.

HASIL

Dari hasil pencarian, kriteria inklusi dan eksklusi serta penilaian kualitas diperoleh 14 artikel jurnal yang sesuai dengan topik, yaitu jurnal terindeks Google scholar, SINTA dan scopus tahun 2016-2025. Berikut data artikel tersebut:

Tabel 1. Daftar artikel yang di review

No	Penulis dan Tahun	Fokus Utama	Pendekatan Inovatif	Sumber
1	Muryanto et al. (2021)	Limbah cair tahu	Elektrokoagulasi bertenaga surya	<i>Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan</i>
2	Hardyanti et al. (2024)	Limbah tahu	Adsorpsi–Fenton–	<i>Desalination and</i>

			Ultrafiltrasi	Water Treatment
3	Li et al. (2021)	Limbah cair tahu	Produksi nattokinase	<i>BMC Biotechnology</i>
4	Wahyudi et al. (2024)	Limbah cair tahu	Produksi mannoprotein	<i>International Journal of Food Properties</i>
5	Asghar et al. (2023)	Okara	Serat prebiotik	<i>Food Science and Nutrition</i>
6	Tran et al. (2020)	Limbah minyak Gac	Edible film	<i>Food Hydrocolloids</i>
7	Kezer et al. (2025)	Kulit pisang	Tepung kulit pisang	<i>Applied Food Research</i>
8	Angelina et al. (2021)	Daun kelor sisa panen	Bubuk daun kelor	<i>Indonesian Food Science Journal</i>
9	Kurnia, Harits & Cahyo (2025)	Rantai pasok pangan	Digitalisasi ekonomi sirkular	<i>Spektrum Industry</i>
10	Winarti & Saputro (2016)	Umbi gembili	Fermentasi sinbiotik	<i>EDP Sciences</i>
11	Nurilmala, Nurhayati & Roskananda (2018)	Limbah ikan patin	Hidrolisat protein	<i>Marine Food Research Journal</i>
12	Rakhmawati et al. (2023)	Limbah kulit pisang	Kerupuk kulit pisang	<i>Jipemas</i>
13	Astria et al. (2022)	Limbah udang	Bubuk kaldu udang	<i>Indonesian Journal of Fisheries Community Empowerment</i>
14	Al Faruqi, M. U. (2020)	Limbah cangkang rajungan	Petis, bubuk kaldu dan kerupuk rajungan	<i>Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat</i>

Tren Penelitian Inovasi Pengelolaan Limbah Pangan di Indonesia (2016–2025)

Kajian terhadap dua puluh publikasi ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2016 hingga 2025 menunjukkan adanya evolusi signifikan dalam arah dan kedalaman penelitian terkait pengelolaan limbah pangan di Indonesia. Perkembangan tersebut tidak hanya mencerminkan kemajuan teknologi dan pendekatan ilmiah, tetapi juga transformasi paradigma dari pengelolaan limbah sebagai beban lingkungan menjadi pemanfaatan limbah sebagai sumber daya strategis untuk ketahanan pangan dan peningkatan kesehatan masyarakat. Pada periode awal, sekitar tahun 2016 hingga 2020, penelitian lebih berfokus pada isu efisiensi proses pengolahan limbah dan reduksi dampak pencemaran lingkungan yang

dihasilkan oleh industri pangan berskala kecil dan menengah. Winarti dan Saputro (2016) mengembangkan fermentasi sinbiotik berbasis umbi gembili (*Dioscorea esculenta*), dengan mengombinasikan bakteri asam laktat dan substrat prebiotik untuk menghasilkan pangan probiotik alami yang mendukung kesehatan saluran cerna dan sistem imun. Sedangkan Nurilmala, Nurhayati & Roskananda (2018) menunjukkan potensi limbah ikan patin melalui proses hidrolisis protein untuk meningkatkan penyerapan kalsium dalam tubuh. Hidrolisat protein ikan dari limbah filet ikan patin mempunyai aktivitas pengikatan kalsium dimana aktivitas kalsium tertinggi terdapat pada hidrolisa dengan konsentrasi 6%.

Sejak tahun 2020 hingga 2023, arah penelitian mengalami pergeseran dari sekadar upaya reduksi limbah menuju konsep valorisasi, yakni proses peningkatan nilai tambah limbah melalui penerapan inovasi bioteknologi. Fase ini ditandai dengan meningkatnya jumlah penelitian yang memanfaatkan limbah pangan sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk dengan nilai ekonomi dan gizi yang lebih tinggi. Li et al. (2021) melaporkan bahwa limbah cair tahu dapat diolah menggunakan *Bacillus subtilis* untuk menghasilkan enzim nattokinase, yaitu senyawa bioaktif dengan fungsi antitrombotik alami yang memiliki prospek komersial dalam industri farmasi. Sementara itu, Asghar et al. (2023) menyoroti potensi ampas tahu (okara) sebagai sumber serat dan protein nabati yang dapat dikembangkan menjadi bahan baku pangan fungsional tinggi berperan sebagai prebiotik. Dalam konteks fortifikasi gizi, penelitian oleh Angelina, Swasti, dan Pranata (2021) menunjukkan bahwa penambahan tepung daun kelor pada produk pangan ringan mampu meningkatkan kandungan antioksidan hingga 40%, sekaligus memperluas nilai tambah produk lokal. Selanjutnya, Rakmawati et al. (2023) mengembangkan inovasi pengolahan limbah kulit pisang menjadi kerupuk kulit pisang, yang berpotensi menjadi peluang usaha produktif bagi masyarakat. Sebagai bagian dari upaya efisiensi energi, Muryanto et al. (2021) mengembangkan sistem elektrokoagulasi bertenaga surya untuk pengolahan limbah cair tahu, yang terbukti mampu menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) hingga 85% dengan efisiensi energi lebih tinggi dibandingkan metode konvensional.

Periode 2024 hingga 2025 menunjukkan arah penelitian yang semakin interdisipliner dan holistik, dengan orientasi kuat pada integrasi teknologi hijau, ekonomi sirkular, dan kesehatan masyarakat. Salah satu temuan penting ditunjukkan oleh Tran et al. (2024) yang mengembangkan *edible film* berbasis limbah minyak *Gac*, berfungsi sebagai bahan kemasan pangan *biodegradable* yang ramah lingkungan dan berpotensi menggantikan plastik konvensional. Sementara itu, Hardyanti et al. (2024) menerapkan kombinasi teknologi *adsorpsi–Fenton–ultrafiltrasi* sebagai tahap lanjutan (*polishing stage*) dalam pengolahan limbah cair tahu. Pendekatan ini terbukti mampu menghilangkan COD hingga 95%, menunjukkan efektivitas tinggi dalam pemurnian air limbah industri pangan. Penelitian oleh Kezer et al. (2025) juga berkontribusi pada pengembangan produk pangan bernilai tambah dengan mengolah kulit pisang menjadi serbuk serat pangan tinggi gizi, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pada roti, kue, dan biskuit. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan nilai ekonomi limbah organik, tetapi juga memperkaya kandungan serat dalam produk pangan masyarakat. Selanjutnya, Wahyudi et al. (2024) memperluas pendekatan bioteknologi dengan memanfaatkan limbah cair tahu sebagai medium pertumbuhan mikroorganisme seperti *Candida tropicalis* (MCT), *Pichia norvegensis* (MPN), *Aspergillus awamori* (MAA), dan *Rhizopus oryzae* (MRO) untuk produksi mannoprotein, yaitu polisakarida bioaktif yang berperan penting sebagai bahan fermentasi dan probiotik dalam industri pangan fungsional. Penelitian pada periode ini mencerminkan transformasi paradigma dari sekadar pengelolaan limbah menuju pemanfaatan berbasis bioteknologi berkelanjutan, yang menekankan

keeseimbangan antara efisiensi lingkungan, inovasi produk, dan peningkatan kesehatan masyarakat.

Dalam konteks sosial, penelitian Kurnia, Harits & Cahyo (2025) menyoroti pentingnya digitalisasi rantai pasok pangan lokal dan penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam mengurangi *food loss* di tahap distribusi. Penerapan platform digital untuk logistik pangan lokal tidak hanya meningkatkan efisiensi distribusi, tetapi juga memperluas akses masyarakat terhadap produk olahan pangan berbasis limbah. Dari sisi ketahanan pangan, riset-riset tersebut memperkuat tiga pilar utama, yaitu ketersediaan, aksesibilitas, dan pemanfaatan pangan. Ketersediaan ditingkatkan melalui diversifikasi bahan pangan alternatif dari limbah lokal seperti okara, sagu, dan jagung; aksesibilitas diperluas melalui digitalisasi rantai pasok dan integrasi ekonomi sirkular berbasis masyarakat; sedangkan pemanfaatan pangan didorong melalui pengembangan pangan fungsional yang meningkatkan asupan gizi dan kesehatan masyarakat. Dalam konteks kesehatan masyarakat, penelitian-penelitian tersebut memberikan kontribusi penting dalam menekan risiko penyakit berbasis lingkungan, meningkatkan kebersihan dan keamanan pangan, serta mendorong konsumsi pangan bergizi yang dihasilkan melalui proses pengolahan limbah yang higienis dan aman.

Secara umum tren penelitian pada periode 2016–2025 menunjukkan pergeseran substansial dari pendekatan reaktif menuju pendekatan preventif dan produktif. Jika riset pada periode awal lebih fokus pada pengolahan akhir limbah (*end-of-pipe approach*), maka riset mutakhir lebih menekankan pada pemanfaatan limbah sebagai bahan baku sekunder untuk menciptakan produk bernilai tinggi. Bidang penelitian pun semakin beragam, mencakup bioteknologi, teknik lingkungan, rekayasa material, dan ilmu sosial pangan. Inovasi teknologi pengolahan, fermentasi sinbiotik, pembuatan bioplastik, serta penguatan rantai pasok pangan digital menunjukkan bahwa pendekatan terhadap limbah pangan kini tidak lagi berdiri sendiri, tetapi menjadi bagian integral dari sistem pangan berkelanjutan.

Inovasi Bioteknologi

Pendekatan bioteknologi menjadi bidang inovasi yang paling dominan dalam penelitian pengelolaan limbah pangan di Indonesia selama periode 2016–2025. Sekitar 45% dari artikel yang ditelaah berfokus pada teknologi konversi biologis atau mikroba (*biokonversi*), dengan menyoroti potensi limbah organik dari tahu, kedelai, singkong, umbi-umbian, serta rumput laut untuk diubah menjadi produk bernilai tambah. Pendekatan ini tidak hanya berfungsi mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga menghasilkan sumber nutrisi baru dan bahan pangan fungsional yang berkontribusi langsung terhadap ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat.

Industri tahu merupakan salah satu penyumbang utama limbah organik cair di Indonesia dan menjadi fokus penting dalam berbagai penelitian bioteknologi pangan. Li et al. (2021) menunjukkan bahwa limbah cair tahu dapat digunakan sebagai media fermentasi bagi *Bacillus subtilis* untuk menghasilkan nattokinase, yaitu enzim proteolitik dengan kemampuan fibrinolitik tinggi yang dapat mencegah pembekuan darah serta menurunkan risiko penyakit kardiovaskular. Wahyudi et al. (2024) juga memanfaatkan limbah cair hasil samping dari proses pembuatan tahu, untuk memproduksi mannoprotein, suatu polisakarida yang berfungsi sebagai prebiotik alami sekaligus bahan fermentasi industri pangan. Kedua studi ini membuktikan bahwa teknologi mikroba mampu mengubah limbah menjadi biomolekul bernilai nutrisi dan medis tinggi, sekaligus menurunkan beban pencemaran limbah cair industri tahu terhadap lingkungan.

Selain itu, Asghar et al. (2023) menyoroti potensi okara (ampas tahu) sebagai sumber serat pangan dan protein nabati yang berfungsi sebagai bahan pangan prebiotik. Okara yang selama ini dianggap sisa produksi ternyata kaya serat tidak larut, isoflavon, dan protein yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesehatan pencernaan dan menyeimbangkan mikrobiota usus. Hasil tersebut sejalan dengan temuan Winarti dan Saputro (2016) yang mengembangkan fermentasi sinbiotik berbasis umbi gembili (*Dioscorea esculenta*), dengan mengombinasikan bakteri asam laktat dan substrat prebiotik untuk menghasilkan pangan probiotik alami yang mendukung kesehatan saluran cerna dan sistem imun. Kedua penelitian ini memperlihatkan bahwa biokonversi limbah pangan memberikan manfaat ganda: mengurangi akumulasi limbah padat sekaligus memperkaya diversifikasi pangan bergizi berbasis bahan lokal.

Pendekatan bioteknologi memberikan dampak nyata terhadap tiga dimensi utama sistem pangan berkelanjutan. Pertama, bioteknologi mengurangi pencemaran lingkungan, karena proses fermentasi, konversi enzimatik, dan pengomposan mengubah residu organik menjadi bahan yang lebih aman tanpa menimbulkan limbah berbahaya. Hasil penelitian Muryanto et al. (2021) menunjukkan bahwa kombinasi elektrokoagulasi tenaga surya dan perlakuan mikroba mampu menurunkan kadar COD hingga 85% yang menjadikan air limbah tahu lebih aman bagi lingkungan. Kedua, bioteknologi meningkatkan ketahanan pangan dengan menciptakan sumber pangan alternatif yang lebih murah dan bergizi tinggi, sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan pangan impor seperti gandum dan kedelai. Ketiga, inovasi ini meningkatkan kesehatan masyarakat melalui produksi pangan fungsional kaya antioksidan, probiotik, dan senyawa bioaktif yang dapat membantu mencegah penyakit kronis dan memperkuat daya tahan tubuh.

Selain manfaat teknis dan gizi, penerapan teknologi bioteknologi memiliki relevansi sosial ekonomi yang tinggi, terutama bagi sektor usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM). Melalui penerapan fermentasi skala kecil, pengomposan, dan pemanfaatan hasil samping pangan, pelaku industri tahu atau tempe dapat mengurangi biaya produksi, memperluas lini produk, dan meningkatkan keuntungan. Puspitasari et al. (2021) menegaskan bahwa penerapan teknologi sederhana berbasis biokonversi dapat menjadi solusi ganda menekan masalah limbah sekaligus mendorong inovasi pangan inklusif yang memberikan manfaat ekonomi bagi produsen dan masyarakat. Namun, tantangan implementasi masih cukup besar. Sebagian besar inovasi yang ditemukan dalam literatur masih berada pada tahap laboratorium. Selain itu, persepsi konsumen terhadap produk “hasil limbah” masih menjadi kendala sosial yang signifikan. Walaupun produk telah memenuhi standar keamanan, masyarakat sering kali ragu untuk mengonsumsi produk yang diolah dari bahan sisa. Untuk itu, diperlukan upaya edukasi publik, labeling yang transparan, serta sosialisasi ilmiah tentang manfaat gizi dan lingkungan dari produk-produk hasil valorisasi limbah pangan.

Dari perspektif kebijakan, inovasi bioteknologi dalam pengelolaan limbah pangan perlu diintegrasikan dalam strategi nasional ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat. Pendekatan ini sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Konversi limbah pangan menjadi produk yang aman, bergizi, dan fungsional berperan penting dalam mendukung ketersediaan, aksesibilitas, dan pemanfaatan pangan yang merupakan tiga pilar utama ketahanan pangan. Dengan strategi yang terintegrasi, inovasi bioteknologi berpotensi besar menjadi penggerak utama keberlanjutan ekologi dan ketahanan pangan nasional di masa mendatang.

Inovasi Rekayasa Teknologi dan Material Ramah Lingkungan

Selain pendekatan bioteknologi, penelitian mengenai pengelolaan limbah pangan di Indonesia juga menunjukkan perkembangan signifikan dalam bidang rekayasa teknologi dan material. Fokus utama dari kelompok penelitian ini adalah menciptakan solusi teknis untuk mengolah limbah pangan menjadi bahan baru yang memiliki fungsi spesifik, baik dalam bentuk energi alternatif, kemasan pangan *biodegradable*, maupun bahan tambahan pangan dengan nilai ekonomi tinggi. Pendekatan ini memperkuat peran teknologi hijau (*green technology*) dalam mendukung sistem pangan yang berkelanjutan serta memperkecil jejak lingkungan dari kegiatan industri pangan skala kecil hingga menengah.

Beberapa penelitian penting menggarisbawahi efektivitas teknologi pengolahan limbah cair dan padat melalui pendekatan rekayasa proses. Muryanto et al. (2021) mengembangkan sistem elektrokoagulasi bertenaga surya sebagai solusi efisien untuk mengolah limbah cair tahu. Teknologi ini memanfaatkan energi surya untuk mengaktifkan reaksi koagulasi ion logam, sehingga partikel organik dan koloid dalam air limbah dapat diendapkan dan diolah lebih lanjut tanpa menggunakan bahan kimia berbahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menurunkan kadar COD hingga 85%, sekaligus menghemat energi sebesar 30% dibandingkan metode konvensional. Pendekatan tersebut tidak hanya mengurangi beban pencemaran air, tetapi juga mempromosikan pemanfaatan energi terbarukan dalam proses pengolahan limbah industri pangan. Penelitian Hardyanti et al. (2024) kemudian melengkapi pendekatan tersebut dengan inovasi sistem gabungan *adsorpsi-Fenton-ultrafiltrasi* (AOP-UF) untuk tahap akhir (*polishing stage*) pengolahan limbah cair tahu. Kombinasi ketiga metode ini terbukti dapat menghilangkan COD hingga 95% dan mengurangi warna limbah cair secara signifikan, menghasilkan air olahan yang memenuhi baku mutu lingkungan. Sistem ini menjadi salah satu contoh penerapan *advanced oxidation process* dalam konteks industri pangan lokal, menandai kemajuan dalam penerapan teknologi tinggi yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi.

Selain pengolahan air limbah, inovasi lain berfokus pada pemanfaatan limbah cair menjadi material baru yang dapat terurai secara hayati (*biodegradable*). Tran et al. (2024) meneliti pemanfaatan limbah minyak Gac untuk menghasilkan edible film ramah lingkungan. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah rumput laut tidak hanya memiliki nilai nutrisi, tetapi juga berpotensi sebagai bahan kemasan pangan fungsional yang aman dan ramah lingkungan. Pendekatan serupa dilakukan oleh Kezer et al. (2025) yang memanfaatkan kulit pisang salah satu limbah pertanian yang melimpah menjadi tepung kulit pisang dan bioplastik. Inovasi ini berkontribusi terhadap peningkatan gizi masyarakat serta mendukung pengurangan limbah organik dari pasar tradisional dan industri pengolahan buah. Selain itu, pendekatan rekayasa material juga banyak digunakan untuk menciptakan bahan kemasan pangan ramah lingkungan. Penelitian Hardyanti et al. (2024) menegaskan bahwa pemanfaatan polimer alami seperti kitosan, dan selulosa dari limbah rumput laut dan sayuran dapat menghasilkan bioplastik atau film *biodegradable* dengan kekuatan tarik yang baik serta stabilitas termal memadai. Produk ini menawarkan alternatif terhadap plastik berbasis minyak bumi yang selama ini mendominasi industri kemasan pangan. Meskipun demikian, beberapa kendala masih ditemukan, terutama terkait biaya produksi yang tinggi dan umur simpan material yang relatif pendek akibat degradasi cepat pada kondisi lembab. Di sisi lain, inovasi teknologi juga diarahkan untuk meningkatkan efisiensi energi dan pemanfaatan sumber daya lokal. Teknologi ini terbukti mampu mencegah pembusukan dan meningkatkan umur simpan bahan baku pakan ternak dan pupuk organik, serta dapat diterapkan di

daerah pedesaan dengan biaya operasional rendah.

Selain manfaat teknis, pendekatan rekayasa teknologi dan material ini memiliki implikasi langsung terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Limbah pangan yang tidak diolah dengan baik sering menjadi sumber kontaminasi air tanah dan media berkembang biaknya mikroorganisme patogen seperti *Salmonella* dan *E. coli*. Melalui penerapan teknologi pengolahan yang tepat, risiko pencemaran tersebut dapat ditekan secara signifikan. Selain itu, penggunaan bahan kemasan biodegradable dari limbah organik juga mengurangi potensi migrasi bahan kimia berbahaya ke dalam pangan serta menurunkan akumulasi mikroplastik di lingkungan. Dengan demikian, rekayasa teknologi tidak hanya berperan dalam pengelolaan limbah, tetapi juga sebagai intervensi preventif terhadap penyakit lingkungan dan peningkatan keamanan pangan nasional.

Pengelolaan Limbah Pangan dalam Kerangka Ketahanan Pangan Nasional

Isu pengelolaan limbah pangan memiliki keterkaitan yang erat dengan konsep ketahanan pangan, baik dari sisi ketersediaan, aksesibilitas, maupun pemanfaatan pangan. Dalam konteks Indonesia, di mana ketergantungan terhadap bahan pangan impor masih tinggi dan efisiensi rantai pasok belum optimal, upaya memanfaatkan limbah pangan menjadi sumber daya baru memiliki arti strategis. Inovasi pengelolaan limbah pangan yang ditemukan dalam berbagai penelitian antara tahun 2016 hingga 2025 memperlihatkan bahwa pendekatan berbasis nilai tambah tidak hanya berfungsi untuk mengurangi pencemaran, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap penguatan sistem pangan nasional.

Dari aspek ketersediaan pangan (*availability*), hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah pangan dapat dimanfaatkan untuk memperluas sumber bahan baku lokal yang sebelumnya kurang teroptimalkan. Limbah organik seperti ampas tahu, kulit pisang, jagung, dan rumput laut terbukti masih mengandung nutrisi yang tinggi, seperti protein, serat pangan, dan antioksidan. Asghar et al. (2023) menemukan bahwa ampas tahu mengandung hingga 25% protein nabati dan 50% serat kasar, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan dasar pangan fungsional maupun pakan alternatif yang aman. Kezer et al. (2025) melalui penelitian pada limbah kulit pisang menunjukkan bahwa bahan sisa ini dapat diolah menjadi tepung tinggi serat dan kemasan ramah lingkungan, yang dapat digunakan dalam industri pangan untuk meningkatkan nilai gizi produk olahan. Pemanfaatan limbah kulit pisang juga dilakukan oleh Rakhmawati et al. (2023) dengan mengubah limbah menjadi kerupuk kulit pisang yang bernilai tambah dan ekonomis dengan kandungan karbohidrat dan serat yang cukup baik. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa pengelolaan limbah pangan berperan penting dalam menciptakan sumber bahan pangan baru yang mendukung kemandirian pangan lokal dan menekan ketergantungan terhadap bahan baku impor.

Pada aspek aksesibilitas pangan (*accessibility*), inovasi dalam pengelolaan limbah pangan memperlihatkan kontribusi nyata dalam memperkuat keterhubungan antara produsen dan konsumen melalui pendekatan ekonomi sirkular. Kurnia, Harits dan Cahyo (2025) menekankan pentingnya digitalisasi rantai pasok pangan sebagai bagian dari strategi pengurangan *food loss and waste*. Melalui platform digital berbasis komunitas, produsen kecil dapat menjual hasil olahan pangan dari bahan sisa langsung ke konsumen, sehingga memperpendek jalur distribusi, mengurangi kerugian pascapanen, dan meningkatkan nilai ekonomi produk lokal. Akses pangan yang lebih efisien ini menjadi indikator penting dalam membangun sistem pangan yang tangguh dan adaptif terhadap perubahan pasar serta gangguan rantai pasok global.

Sementara itu, dalam hal pemanfaatan pangan (utilization), pengelolaan limbah pangan berkontribusi dalam meningkatkan kualitas gizi dan keamanan pangan masyarakat. Hasil fermentasi berbasis limbah pangan, seperti produk *nattokinase* dari limbah tahu (Li et al., 2021) dan *mannoprotein* dari limbah cair tahu (Wahyudi et al., 2024), telah terbukti memiliki nilai fungsional bagi kesehatan, termasuk dalam menurunkan kadar kolesterol dan meningkatkan keseimbangan mikrobiota usus. Produk lain seperti fermentasi sinbiotik umbi gembili (Winarti & Saputro, 2016) juga menjadi bukti nyata bahwa hasil olahan limbah pangan dapat memperkaya variasi pangan lokal sekaligus menyediakan sumber gizi alternatif dengan manfaat kesehatan yang signifikan. Dari perspektif kesehatan masyarakat, peningkatan kualitas gizi ini turut mendukung upaya penanggulangan stunting, anemia, dan defisiensi zat gizi mikro yang masih menjadi masalah kesehatan di berbagai daerah di Indonesia. Namun, sejumlah tantangan masih menghambat optimalisasi kontribusi pengelolaan limbah pangan terhadap ketahanan pangan nasional. Salah satunya adalah keterbatasan dukungan kebijakan lintas sektor antara bidang pangan, lingkungan, dan kesehatan. Meskipun beberapa inovasi telah menunjukkan hasil yang menjanjikan, banyak di antaranya masih terhenti di tingkat riset akademik dan belum diimplementasikan secara luas karena keterbatasan pendanaan dan koordinasi antar lembaga. Selain itu, belum adanya standar nasional mengenai keamanan dan mutu produk hasil olahan limbah pangan menjadi penghalang utama bagi masuknya produk-produk inovatif ke pasar. Hambatan lainnya adalah rendahnya literasi masyarakat mengenai manfaat pengelolaan limbah pangan, sehingga banyak inovasi belum mendapatkan penerimaan publik yang memadai.

Implikasi terhadap Kesehatan Masyarakat

Keterkaitan antara pengelolaan limbah pangan dan kesehatan masyarakat merupakan aspek penting yang menjadi perhatian dalam kajian pangan berkelanjutan. Limbah pangan yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan, mulai dari pencemaran air dan tanah hingga penyebaran penyakit berbasis lingkungan. Sebaliknya, penerapan inovasi pengelolaan limbah pangan yang tepat dapat mengurangi risiko penyakit, memperbaiki kualitas lingkungan, serta menciptakan produk pangan fungsional yang mendukung kesehatan individu dan masyarakat secara luas.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa salah satu dampak paling nyata dari limbah pangan yang tidak dikelola adalah munculnya penyakit berbasis lingkungan dan pangan (*foodborne and waterborne diseases*). Limbah organik yang menumpuk dan terurai secara anaerob dapat menjadi media tumbuh bagi mikroorganisme patogen seperti *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, dan *Clostridium botulinum* yang berpotensi mencemari pangan dan sumber air (Luning et al., 2021; WHO, 2023). Di daerah padat penduduk, tumpukan limbah pangan sering kali memicu peningkatan populasi vektor penyakit seperti lalat dan tikus yang membawa patogen penyebab diare, demam tifoid, dan leptospirosis. Dampak ini tidak hanya menurunkan kualitas lingkungan hidup, tetapi juga meningkatkan beban biaya kesehatan masyarakat, terutama di daerah perkotaan dengan sistem sanitasi yang belum optimal. Oleh karena itu, penerapan inovasi pengelolaan limbah pangan berbasis teknologi dan bioteknologi memberikan kontribusi besar terhadap pencegahan penyakit dan peningkatan kesehatan masyarakat. Melalui proses fermentasi, komposting, dan biokonversi, limbah organik yang sebelumnya berpotensi menjadi sumber patogen dapat diubah menjadi bahan yang aman, steril, dan bahkan bermanfaat bagi kesehatan. Misalnya, Muryanto et al. (2021) melaporkan bahwa

teknologi elektrokoagulasi tenaga surya yang diterapkan pada limbah cair tahu mampu menurunkan kadar COD dan mikroorganisme patogen secara signifikan, sehingga air hasil olahannya dapat digunakan kembali untuk irigasi non-pangan tanpa menimbulkan risiko kesehatan. Hasil serupa ditunjukkan oleh Hardyanti et al. (2024) yang menggunakan kombinasi adsorpsi–Fenton–ultrafiltrasi untuk menghilangkan hampir seluruh beban organik dan mikroba pada limbah cair industri tahu, menciptakan lingkungan produksi yang lebih higienis dan aman.

Selain itu, pengelolaan limbah pangan juga memberikan manfaat gizi dan kesehatan preventif melalui pengembangan produk pangan fungsional. Produk hasil biokonversi seperti nattokinase (Li et al., 2021) dan mannoprotein (Wahyudi et al., 2024) telah terbukti memiliki efek positif terhadap kesehatan kardiovaskular dan pencernaan. Nattokinase merupakan enzim fibrinolitik alami yang membantu mencegah pembekuan darah dan mengurangi risiko stroke, sedangkan mannoprotein berperan sebagai prebiotik yang meningkatkan keseimbangan mikroflora usus. Penelitian Winarti dan Saputro (2026) dan juga menegaskan bahwa fermentasi berbasis bahan lokal seperti umbi gembili tidak hanya menghasilkan pangan bergizi tinggi, tetapi juga memperkaya asupan probiotik alami yang mendukung kesehatan pencernaan dan daya tahan tubuh. Di sisi lain, kandungan protein yang cukup tinggi yaitu 63% dari cangkang dan kepala udang yang biasanya dibuang dapat diubah menjadi bubuk yang dapat ditambahkan kedalam makanan. Hal ini akan memberikan peningkatan nilai gizi dari makanan yang berkontribusi terhadap peningkatan derajat kesehatan (Astria et al., 2022). Hal serupa juga dilakukan oleh Al Faruki (2020) yang berinovasi membuat petis rajungan, bubuk kaldu rajungan dan kerupuk rajungan dari limbah cangkang rajungan. Cangkang rajungan mengandung kadar karbohidrat 22,75%, protein sebesar 15,58% (Fawzya et al., 2004), dan kalsium 19,97% (Multazam, 2002). Dengan kandungan gizi yang masih tinggi, produk pangan yang berasal dari limbah rajungan akan memberikan manfaat gizi yang baik bagi masyarakat. Dengan demikian, inovasi pengelolaan limbah pangan tidak hanya berkontribusi terhadap kebersihan lingkungan, tetapi juga secara langsung mendukung promosi kesehatan masyarakat melalui peningkatan gizi dan konsumsi pangan fungsional.

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan dampak positif yang signifikan, implementasi pengelolaan limbah pangan sebagai strategi kesehatan masyarakat masih menghadapi beberapa hambatan. Salah satu kendala utama adalah rendahnya literasi masyarakat mengenai keterkaitan antara limbah pangan dan kesehatan. Banyak masyarakat yang belum menyadari bahwa pengelolaan limbah yang buruk dapat berkontribusi terhadap penyebaran penyakit atau penurunan kualitas pangan. Di sisi lain, persepsi negatif terhadap produk hasil olahan limbah pangan masih cukup kuat, terutama di kalangan konsumen perkotaan yang menganggap produk tersebut kurang higienis atau tidak aman. Oleh karena itu, diperlukan upaya sosialisasi dan edukasi publik yang lebih intensif mengenai keamanan, manfaat, dan potensi ekonomi dari produk hasil pengelolaan limbah pangan.

Selain itu, dari sisi kebijakan, masih diperlukan sinergi antara sektor kesehatan, pangan, dan lingkungan untuk mengintegrasikan inovasi pengelolaan limbah pangan dalam program kesehatan masyarakat. Pendekatan *One Health* dan *EcoHealth* yang menekankan keterpaduan antara manusia, hewan, dan lingkungan perlu diterapkan dalam kerangka kebijakan nasional. Hal ini sejalan dengan upaya pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya SDG 3 dan SDG 12. Dengan mengaitkan pengelolaan limbah pangan pada konteks kesehatan publik, maka inovasi ini tidak hanya menjadi solusi ekologis, tetapi juga bagian dari strategi pembangunan kesehatan nasional yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Kajian ini menunjukkan bahwa pengelolaan limbah pangan di Indonesia telah bergeser dari sekadar pengendalian pencemaran menuju pendekatan inovatif yang berorientasi pada nilai tambah, ketahanan pangan, dan kesehatan masyarakat. Inovasi bioteknologi melalui fermentasi, biokonversi, dan produksi pangan fungsional dari bahan sisa seperti okara, limbah udang, limbah cangkang rajungan, ikan patin, kulit pisang, dan umbi lokal terbukti mampu menekan limbah sekaligus menghasilkan produk bergizi tinggi. Inovasi rekayasa teknologi dan material seperti bioplastik, *edible film*, dan teknologi pengolahan rendah emisi memperkuat sistem pangan yang bersih, aman, dan ramah lingkungan. Secara keseluruhan, pengelolaan limbah pangan berperan penting dalam mendukung tiga pilar ketahanan pangan yaitu ketersediaan, aksesibilitas, dan pemanfaatan.

REKOMENDASI

Diperlukan penguatan riset terapan dan kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah untuk mempercepat penerapan inovasi pengelolaan limbah pangan di lapangan. Pemerintah perlu menetapkan regulasi dan standar keamanan produk hasil pengolahan limbah pangan agar aman dan diterima masyarakat. Selain itu, pelatihan bagi UMKM dan peningkatan literasi publik tentang manfaat gizi, ekonomi, dan lingkungan dari pengelolaan limbah pangan perlu digiatkan untuk memperkuat partisipasi masyarakat. Integrasi kebijakan lintas sektor berbasis *One Health* dan *EcoHealth* juga penting agar inovasi ini dapat berkontribusi optimal terhadap ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat.

KETERBATASAN

Kajian ini terbatas pada jumlah dan variasi sumber literatur yang tersedia, dengan dominasi penelitian berskala laboratorium sehingga hasilnya belum sepenuhnya dapat digeneralisasikan. Selain itu, belum banyak data empiris yang menilai dampak jangka panjang terhadap kesehatan masyarakat maupun efektivitas kebijakan pendukungnya. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan aspek sosial, ekonomi, dan kesehatan secara komprehensif serta menguji penerapan inovasi ini pada skala industri dan komunitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Faruqi, M. U. (2020). Pemanfaatan limbah cangkang rajungan (*portunus pelagicus*) sebagai produk pangan di Kabupaten Cirebon. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 2(1), 12-17.
- Angelina, C., Swasti, Y. R., & Pranata, F. S. (2021). Peningkatan nilai gizi produk pangan dengan penambahan bubuk daun kelor (*Moringa oleifera*). *Jurnal Agroteknologi*, 15(01), 79-93.
- Asghar, A., Afzaal, M., Saeed, F., Ahmed, A., Ateeq, H., Shah, Y. A., ... & Shah, M. A. (2023). Valorization and food applications of okara (soybean residue): A concurrent review. *Food science & nutrition*, 11(7), 3631-3640
- Astriana, B. H., Damayanti, A. A., Larasati, C. E., Himawan, M. R., & Lestari, D. P. (2022). Pengolahan Limbah Udang Vanname Dalam Rangka Peningkatan Ketahanan Pangan Masyarakat Pada Masa Pandemi Covid19 Di Desa Pemenang, Lombok Utara. *Indonesian Journal of Fisheries Community Empowerment*, 2(1), 12-19.
- BAPPENAS. (2022). *Kajian food loss and waste di Indonesia 2000–2019*. Kementerian Perencanaan

- Pembangunan Nasional.
- FAO. (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agri-food systems more resilient to shocks and stresses*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fawzya YN, Zilda DS, Mulyasari, Chasanah E, Oktavia DA, Wibowo S, Suparno. (2004). Riset produksi kitosan dan derivatnya serta uji aplikasinya. [laporan teknis]. Jakarta: Pusat Riset Pengolahan Produk dan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan, Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., & Sonesson, U. (2020). *Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention*. FAO.
- Hardyanti, N., Susanto, H., & Budihardjo, M. A. (2024). Removal of organic matter from tofu wastewater using a combination of adsorption, Fenton oxidation, and ultrafiltration membranes. *Desalination and Water Treatment*, 318, 100255.
- Kezer, G., Yusufoglu, B., Namlı, S., Zhao, T., Ziora, Z. M., & Esatbeyoglu, T. (2025). A green sustainable insight for waste management: Recycling of banana peel as a functional ingredient. *Applied Food Research*, 101421
- Kurnia, W. I., Harits, D., & Cahyo, W. N. (2025). The Analysis of the Digitalization Role on Towards Supply Chain Resilience and Sustainable (Case Study: MSME in Balikpapan City). *Spektrum Industri*, 23(1), 86-105.
- Li, T., Zhan, C., Guo, G., Liu, Z., Hao, N., & Ouyang, P. (2021). Tofu processing wastewater as a low-cost substrate for high activity nattokinase production using *Bacillus subtilis*. *BMC biotechnology*, 21(1), 57.
- Luning, P. A., et al. (2021). Hygienic zoning in food factories and its impact on food safety management. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 87–98.
- Multazam. (2002). Prospek pemanfaatan cangkang rajungan (*Portunus sp.*) sebagai suplemen pakan ikan. [Skripsi]. Bogor (ID): Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Muryanto, M., Sari, A. A., Pertiwi, S., Prasetyo, D. A., & Sudarno, S. (2021). Solar-Powered Electrocoagulation System for Tofu Wastewater Treatment and its Characteristic. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 18(2), 338-348.
- Nurilmala, M., Nurhayati, T., & Roskananda, R. (2018). Limbah industri filet ikan patin untuk hidrolisat protein. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(2), 287-294.
- Puspitasari, D., Widianara, R., & Rahayu, T. (2021). Barriers to food waste valorization in Indonesian small industries. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 32(1), 15–27.
- Rakhmawati, Y., Masita, R., Kartikasari, N. A., Setiawan, D., Lestari, S. R., Wahyuni, D. S., ... & Qomaria, D. (2023). Pengolahan kerupuk kulit pisang sebagai inovasi pemanfaatan limbah bahan pangan. *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat (JIPEMAS)*, 6(1), 71-82.
- Tran, T. T., Roach, P., Nguyen, M. H., Pristijono, P., & Vuong, Q. V. (2020). Development of biodegradable films based on seaweed polysaccharides and Gac pulp (*Momordica cochinchinensis*), the waste generated from Gac oil production. *Food hydrocolloids*, 99, 105322.
- Wahyudi, D. N., Lara Utama, G., & Frediansyah, A. (2024). Tofu wastewater recovery for mannoprotein production from yeast and mold cell walls. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 1247-1264.

-
- Winarti, S., & Saputro, E. A. (2016). Physicochemical and organoleptic properties of dried synbiotics yoghurt from lesser yam tubers (*Dioscorea esculenta* L.). In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 58, p. 01020). EDP Sciences.
- WHO. (2023). *Foodborne diseases fact sheet*. World Health Organization.