

Integrasi Teknologi Pengolahan Ikan dalam Pendidikan Pertahanan untuk Mendukung Ketahanan Pangan Nasional

Dwi Scativana Isnaeni

MA Cokroaminoto Wanadadi, dwi.scativana23@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi perikanan yang sangat besar, namun olahan ikan tradisional masih menghadapi keterbatasan berupa umur simpan yang relatif pendek, variasi mutu, dan risiko keamanan pangan. Penelitian ini bertujuan meninjau inovasi pengolahan ikan tradisional, menganalisis perbandingan produk tradisional dan modern, serta merumuskan kerangka integrasi produk berbasis teknologi dalam pendidikan pertahanan untuk mendukung ketahanan pangan nasional. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap 72 publikasi ilmiah periode 2015–2025, dianalisis dengan pendekatan kuantitatif, tematik, dan *meta-interpretive synthesis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi modern—seperti pengeringan vakum, pembekuan cepat (IQF), pengalengan, surimi, dan *smart packaging*—dapat memperpanjang umur simpan produk 2–5 kali lipat dibanding metode tradisional, dengan mempertahankan kualitas gizi dan stabilitas mikrobiologis, menjaga retensi protein 95–100%, meminimalkan degradasi omega-3, dan menekan risiko kontaminasi mikroba maupun kimia. Integrasi produk berbasis teknologi ke dalam modul pendidikan pertahanan melalui *experiential learning* memungkinkan peserta didik memperoleh kompetensi teknis, strategis, dan kultural, serta memahami rantai logistik pangan militer, mitigasi risiko keamanan pangan, dan pengelolaan distribusi pangan dalam situasi darurat. Transformasi ini juga mendukung pelestarian budaya lokal, penerapan prinsip ekonomi biru, dan kemandirian pangan nasional secara berkelanjutan. Penelitian ini memberikan kontribusi akademik dan praktis dengan menghubungkan teknologi pangan, pendidikan pertahanan, dan pelestarian kuliner tradisional, serta menyediakan kerangka kerja bagi pengembangan modul pembelajaran dan kolaborasi lintas pemangku kepentingan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi bagi pembuat kebijakan, pendidik, dan praktisi industri untuk meningkatkan kualitas gizi, keamanan, dan keberlanjutan produk ikan olahan, sambil membentuk sumber daya manusia pertahanan yang adaptif dan tangguh.

Kata Kunci: olahan ikan tradisional, teknologi pangan, pendidikan pertahanan, ketahanan pangan, experiential learning.

ABSTRACT

Indonesia possesses vast potential in fisheries; however, traditional fish processing still faces limitations such as short shelf life, quality variability, and food safety risks. This study aims to review innovations in traditional fish processing, analyze the comparison between traditional and modern products, and formulate a framework for integrating technology-based products into defense education to support national food security. The method used is a Systematic Literature Review (SLR) of 72 scientific publications from 2015 to 2025, analyzed through quantitative, thematic, and meta-interpretive synthesis approaches. The results show that modern technologies—such as vacuum drying, quick freezing (IQF), canning, surimi, and smart packaging—can extend the shelf life of products 2–5 times longer than traditional methods, while maintaining nutritional quality and microbiological stability. These technologies preserve protein retention at 95–100%, minimize omega-3 degradation, and reduce the risk of microbial and chemical contamination. Integrating technology-based products into defense education modules through experiential learning enables participants to acquire technical, strategic, and cultural competencies, as well as an understanding of military food logistics, food safety risk mitigation, and food distribution management in emergency situations. This transformation also supports the preservation of local culture, the application of blue economy principles, and national food sovereignty in a sustainable manner. This research contributes both academically and practically by connecting food technology, defense education, and the preservation of traditional culinary practices,

providing a framework for developing learning modules and cross-stakeholder collaboration. The findings can serve as a reference for policymakers, educators, and industry practitioners to improve the nutritional quality, safety, and sustainability of processed fish products, while building adaptive and resilient defense human resources.

Keywords: traditional fish processing, food technology, defense education, food security, experiential learning.

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara maritim dengan garis pantai lebih dari 108.000 km memiliki potensi sumber daya perikanan yang sangat besar. Produksi perikanan nasional dilaporkan mencapai lebih dari 6,5 juta ton per tahun dan berkontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan serta perekonomian wilayah pesisir (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2023). Secara global, ikan menyumbang lebih dari 17% asupan protein hewani dunia, sehingga sektor perikanan menjadi komponen penting dalam sistem pangan, khususnya di negara berkembang (FAO, 2020; FAO, 2022). Dalam konteks Indonesia, perikanan tidak hanya menopang konsumsi domestik, tetapi juga memiliki posisi strategis dalam mendukung ketahanan pangan nasional.

Produk olahan ikan tradisional Indonesia—seperti abon, kerupuk ikan, pepes, pindang, ikan asap, dan bekasam—mencerminkan warisan budaya kuliner Nusantara sekaligus menjadi sumber nutrisi penting bagi masyarakat. Berbagai studi melaporkan bahwa produk ini umumnya memiliki kandungan protein 20–40%, lemak esensial, asam lemak omega-3, kalsium, dan vitamin B kompleks yang berperan dalam metabolisme energi dan kesehatan masyarakat (Ahmad et al., 2021; Ghaly et al., 2010; Hidayat, 2020). Namun, metode pengolahan tradisional seperti penggaraman, pengasapan, dan fermentasi masih menghadapi sejumlah keterbatasan, antara lain variabilitas mutu, keterbatasan kontrol suhu dan kelembapan, serta tingginya risiko kontaminasi mikrobiologis (Huss et al., 2003; Gram & Dalgaard, 2002). Dalam kondisi tropis, umur simpan produk tradisional umumnya hanya berkisar 1–3 bulan, sehingga kurang

ideal untuk kebutuhan penyimpanan jangka panjang dan distribusi jarak jauh.

Ketahanan pangan Indonesia, terutama dalam perspektif pertahanan negara, menuntut ketersediaan pasokan pangan yang stabil, bergizi, aman, dan berumur simpan panjang, baik untuk konsumsi rutin personel pertahanan maupun dalam situasi darurat dan operasi di wilayah terpencil. Gower dan McDowall (2020) menekankan bahwa ketersediaan pangan tahan lama merupakan elemen kunci dalam sistem pertahanan modern. Namun, potensi produk olahan ikan tradisional Indonesia sebagai bagian dari logistik pangan pertahanan belum tergarap optimal, terutama karena keterbatasan umur simpan, fluktuasi mutu, dan risiko keamanan pangan. Hal ini menunjukkan adanya jarak antara kekayaan budaya kuliner berbasis ikan dan kebutuhan strategis logistik pertahanan.

Di sisi lain, perkembangan teknologi pengolahan pangan modern menawarkan peluang besar untuk menjembatani kesenjangan tersebut. Teknologi seperti *individual quick freezing* (IQF), pengeringan vakum, pengalengan, pengolahan surimi beku, retort pouch, dan smart packaging telah terbukti mampu meningkatkan umur simpan, menjaga kualitas gizi, dan meningkatkan keamanan produk perikanan (Sivertsvik et al., 2002; Realini & Marcos, 2014; Huang et al., 2020; FAO, 2023). Berbagai studi menunjukkan bahwa teknologi tersebut dapat memperpanjang umur simpan produk 2–5 kali lipat (hingga 6–36 bulan), mempertahankan retensi protein 95–100%, menurunkan degradasi omega-3 menjadi sekitar 3–8%, serta menekan risiko kontaminasi mikrobiologis lebih dari 95%. Meskipun demikian, penerapan

teknologi ini dalam konteks ketahanan pangan pertahanan dan integrasinya ke dalam proses pendidikan pertahanan, khususnya melalui pendekatan *experiential learning*, masih sangat terbatas.

Gap utama yang diidentifikasi dalam kajian literatur adalah minimnya penelitian yang secara eksplisit menghubungkan tiga ranah: (1) teknologi pengolahan ikan modern, (2) ketahanan pangan dan logistik pertahanan, serta (3) pendidikan pertahanan berbasis *experiential learning*. Kajian yang ada umumnya berfokus pada aspek teknologi pengolahan ikan atau pada pendidikan pertahanan secara terpisah, tanpa merumuskan kerangka integratif yang memosisikan produk olahan ikan modern sebagai instrumen strategis pembelajaran dan logistik pangan pertahanan. Selain itu, aspek efisiensi energi, jejak karbon, dan pengelolaan limbah dalam kerangka ekonomi biru juga belum banyak diintegrasikan dalam diskursus ketahanan pangan dan pertahanan nasional (Fiorentino et al., 2017; UNEP, 2023; FAO, 2024).

Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) berbasis PRISMA. Penelitian ini bertujuan: (1) mengkaji karakteristik proses dan mutu produk olahan ikan tradisional yang relevan untuk ketahanan pangan; (2) menganalisis perbandingan kandungan gizi, umur simpan, dan keamanan pangan antara produk tradisional dan produk yang diolah dengan teknologi modern; (3) mengidentifikasi implikasi strategis teknologi pengolahan ikan modern bagi ketahanan pangan dan logistik pertahanan; serta (4) merumuskan model konseptual integrasi teknologi pengolahan ikan ke dalam kurikulum pendidikan pertahanan melalui pendekatan *experiential learning*.

Secara teoretis, penelitian ini memberikan kontribusi dengan memperkuat literatur yang mengaitkan teknologi pangan, ketahanan pangan, dan ketahanan negara, sekaligus menempatkan pendidikan pertahanan sebagai ruang penting untuk difusi inovasi teknologi

pengolahan ikan. Secara praktis, penelitian ini menawarkan kerangka kerja bagi pengembangan modul pembelajaran dan kebijakan yang mengintegrasikan produk olahan ikan modern ke dalam sistem logistik pangan pertahanan, tanpa mengabaikan pelestarian kuliner tradisional dan pemberdayaan masyarakat pesisir. Modernisasi teknologi pengolahan ikan yang selaras dengan prinsip ekonomi biru diharapkan tidak hanya meningkatkan kualitas gizi dan keamanan produk, tetapi juga mendukung kemandirian pangan nasional dan kesiapsiagaan pertahanan secara berkelanjutan. Novelty penelitian ini terletak pada penyusunan model komprehensif yang menghubungkan teknologi pengolahan ikan, ketahanan pangan, logistik pertahanan, dan pendidikan pertahanan dalam satu kerangka integratif yang belum banyak diulas dalam penelitian sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) berbasis PRISMA 2020 untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis bukti ilmiah terkait teknologi pengolahan ikan tradisional dan modern serta relevansinya dalam pendidikan pertahanan. SLR dipilih karena merupakan metode yang paling mampu memberikan gambaran komprehensif, terstruktur, dan transparan tentang perkembangan penelitian dalam satu bidang (Page et al., 2021). Pendekatan ini memastikan proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi, seleksi, penilaian kualitas, dan ekstraksi data sebagaimana direkomendasikan dalam pedoman PRISMA.

Proses pencarian referensi dilakukan pada beberapa basis data ilmiah besar, yaitu Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, PubMed, dan Google Scholar, serta basis data nasional seperti Garuda, Neliti, dan repositori perguruan tinggi (UI, UGM, IPB, Unair). Pemilihan rentang tahun 2015–2025 dilakukan untuk menangkap perkembangan terbaru teknologi pangan

dan inovasi pendidikan pertahanan dalam konteks global dan nasional. Penelusuran menggunakan kombinasi kata kunci seperti *traditional fish processing*, *vacuum drying fish*, *individual quick freezing (IQF)*, *smart packaging seafood*, *defense food logistics*, *food security*, dan *experiential learning in defense education*. Penggunaan operator boolean (AND, OR, NOT) mengoptimalkan relevansi hasil pencarian, sebagaimana direkomendasikan oleh Haddaway et al. (2022) dalam praktik SLR.

Pemilihan *Systematic Literature Review (SLR)* berbasis PRISMA 2020 sangat tepat karena memberikan gambaran komprehensif, terstruktur, dan transparan terhadap literatur relevan, menghindari bias seleksi serta menjamin cakupan menyeluruh perkembangan teknologi pengolahan ikan dan pendidikan pertahanan periode 2015–2025 (Page et al., 2021). Metode ini memungkinkan integrasi analisis kuantitatif, kualitatif, dan *meta-interpretive synthesis* untuk menangkap data nutrisi secara statistik serta aspek sosial-budaya secara holistik, menangani heterogenitas sumber sekunder tanpa eksperimen langsung. Protokol PRISMA meningkatkan validitas, reproduktibilitas, dan kredibilitas temuan (Haddaway et al., 2022; Belton & Thilsted, 2014), terutama di bidang pangan dan lingkungan, sementara triangulasi sumber-metode plus peer debriefing dengan pakar mengeliminasi bias serta memperkaya interpretasi, menjadikan SLR ideal untuk mengintegrasikan teknologi pangan dengan ketahanan nasional.

Dari total 235 artikel yang diperoleh pada tahap awal, proses penyaringan dilakukan melalui penghapusan duplikasi, penilaian judul dan abstrak, serta evaluasi teks penuh. Proses seleksi mengacu pada kriteria inklusi dan eksklusi yang jelas untuk menjaga kualitas studi. Kriteria inklusi mencakup: (1) artikel jurnal dan prosiding yang melalui proses peer review; (2) publikasi berbahasa Indonesia atau Inggris; (3) studi yang melaporkan data gizi, umur simpan, atau aspek keamanan pangan; dan (4) penelitian yang membahas pendidikan pertahanan, logistik pangan, atau *experiential learning*. Sementara itu,

kriteria eksklusi meliputi: (1) artikel sebelum tahun 2015; (2) laporan non-ilmiah; (3) berita, blog, dan esai populer; serta (4) publikasi yang tidak relevan dengan fokus penelitian. Pendekatan ini selaras dengan praktik SLR ilmiah dalam bidang pangan dan lingkungan (Belton & Thilsted, 2014; Lu et al., 2022).

Sebanyak 72 artikel memenuhi kriteria inklusi dan digunakan untuk sintesis data. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan *meta-interpretive synthesis*. Analisis kuantitatif digunakan untuk membandingkan kandungan protein, lemak, omega-3, kadar air, dan umur simpan antara produk tradisional dan modern, mengikuti pendekatan Jinadasa (2016) dan Kristoffersen et al. (2020). Analisis kualitatif digunakan untuk memahami makna budaya, nilai sosial, dan implikasi penggunaan teknologi modern terhadap masyarakat pesisir serta sistem logistik pertahanan. Pendekatan *meta-interpretive synthesis* digunakan untuk membangun kerangka konseptual integrasi teknologi pangan dan pendidikan pertahanan, mengikuti metodologi yang digunakan dalam kajian kebijakan pangan dan ketahanan nasional (Reed & Schmitz, 2019).

Validitas penelitian diperkuat melalui triangulasi sumber dan triangulasi metode. Triangulasi sumber dilakukan dengan menggunakan kombinasi jurnal internasional, jurnal nasional, laporan resmi pemerintah, dan dokumen lembaga internasional seperti FAO dan UNEP (FAO, 2023; UNEP, 2023). Triangulasi metode dilakukan melalui penggabungan analisis statistik deskriptif, interpretasi tematik, dan sintesis konseptual untuk memastikan bahwa temuan tidak hanya deskriptif tetapi juga memiliki kekuatan analitis. Selain itu, proses peer debriefing dilakukan dengan melibatkan dua pakar teknologi pangan dan satu dosen pendidikan pertahanan untuk mengurangi potensi bias interpretatif, sebagaimana direkomendasikan oleh Creswell & Poth (2018) dalam metodologi penelitian kualitatif.

Keterbatasan penelitian ini meliputi tidak dilakukannya eksperimen

laboratorium langsung karena fokus penelitian berada pada sintesis literatur, adanya variasi metodologis antar studi yang menimbulkan heterogenitas data, serta keterbatasan akses pada beberapa jurnal berbayar sehingga sebagian analisis menggunakan data sekunder yang tersedia dalam bentuk abstrak atau ringkasan. Meskipun demikian, pendekatan SLR memberikan dasar kuat untuk memahami perkembangan teknologi pengolahan ikan dan potensinya untuk mendukung pendidikan pertahanan serta ketahanan pangan nasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik dan Proses Pengolahan Ikan Tradisional

Pengolahan ikan tradisional di Indonesia memiliki sejarah panjang, kuat secara budaya, dan menjadi penopang pangan masyarakat pesisir. Metode utama seperti penggaraman, pengasapan, fermentasi, pengeringan, pemindangan, dan pemanggangan telah diwariskan lintas generasi dan terbukti efektif dalam mempertahankan pasokan pangan di wilayah pesisir (Huss, Ababouch & Gram, 2003; Ghaly et al., 2010).

Penggaraman menurunkan aktivitas air dan menghambat pertumbuhan mikroba, tetapi proses manual menyebabkan variasi mutu. Penelitian Sari et al. (2020) menunjukkan bahwa kadar garam yang tidak seragam meningkatkan risiko kontaminasi *Staphylococcus aureus* dan *E. coli*. Pengasapan tradisional memberikan cita rasa khas, namun pengasapan tidak terkontrol dapat memproduksi senyawa PAH (*benzo[a]pyrene*) yang bersifat karsinogenik (European Food Safety Authority, 2020). Fermentasi tradisional seperti bekasam atau peda kaya probiotik, tetapi kualitas antartumpukan tidak seragam karena starter alami tidak terstandar (Lee et al., 2019).

Kelemahan utama metode tradisional adalah rendahnya kontrol terhadap suhu, kelembapan, dan kontaminasi lingkungan. FAO (2020) menegaskan bahwa proses tradisional sering menghasilkan umur simpan hanya

1–3 bulan dengan risiko mikrobiologis yang meningkat pada suhu ruang tropis. Meskipun demikian, nilai budaya pengolahan tradisional tetap signifikan untuk ketahanan pangan berbasis komunitas dan ketahanan sosial-budaya.

2. Transformasi Menuju Teknologi Pengolahan Modern

Modernisasi teknologi pangan menawarkan peluang besar untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan nilai gizi produk perikanan. Dalam dua dekade terakhir, inovasi seperti individual quick freezing (IQF), pengeringan vakum, *retort pouch*, surimi, dan kemasan pintar berkembang pesat dan digunakan secara luas dalam industri global (Sivertsvik, Rosnes & Kleiberg, 2002; Tsironi et al., 2020).

Teknologi pembekuan cepat (IQF)

Metode IQF membentuk kristal es mikro sehingga struktur jaringan ikan tetap terjaga, dengan kehilangan nutrisi minimal. Penelitian Benjakul et al. (2018) menunjukkan IQF mempertahankan retensi protein 97–100% dan omega-3 dengan degradasi hanya 3–6% selama penyimpanan -18°C. Umur simpan dapat mencapai 8–12 bulan.

Pengeringan vakum

Pengeringan vakum dilakukan pada tekanan rendah yang memungkinkan penguapan air pada suhu lebih rendah sehingga mengurangi oksidasi lipid (Huang et al., 2020). Produk ikan kering vakum memiliki kadar air 8–12% dan umur simpan 6–8 bulan. Teknologi ini terbukti mempertahankan omega-3 lebih baik daripada pengeringan matahari.

Pengalengan

Pengalengan melalui sterilisasi mencapai 115–121°C, efektif menonaktifkan *Clostridium botulinum* (Rahman et al., 2019). Umur simpan mencapai 24–36 bulan. *Retort pouch* meningkatkan keamanan tanpa merusak tekstur.

Surimi

Surimi adalah konsentrat protein ikan yang dicuci, rendah lemak, dan memiliki stabilitas penyimpanan beku tinggi. Menurut Park (2014), surimi beku

dapat bertahan 12–18 bulan dengan kehilangan kualitas minimal.

Smart packaging

Kemasan aktif-antimikroba, indikator kesegaran, dan sensor oksigen telah digunakan luas dalam industri pangan global. Studi review oleh Realini & Marcos (2014) menunjukkan smart packaging mampu menurunkan risiko mikroba hingga 99% melalui pengendalian oksigen dan kelembapan.

Kesimpulan: Teknologi modern menawarkan keunggulan umur simpan, keamanan pangan, stabilitas nutrisi, dan

efisiensi logistik — menjadikannya sangat relevan bagi ketahanan pangan nasional dan kebutuhan pertahanan.

3. Analisis Perbandingan Kandungan Gizi dan Umur Simpan

Modernisasi pengolahan ikan meningkatkan kualitas gizi, keamanan pangan, dan umur simpan, dipengaruhi kontrol suhu, tekanan, oksigen, dan teknologi kemasan (FAO, 2023; KKP, 2024).

Tabel 1. Perbandingan Produk Tradisional dan Modern (Protein, Lemak, Omega-3, dan Umur Simpan)

Produk	Metode	Protein (%)	Lemak (%)	Omega-3 (mg/100 g)	Penurunan O-3 (%)	Umur Simpan
Ikan Asin	Garam tradisional	25–30	10–12	800–950	20–25	2–3 bulan
Ikan Asap	Pengasapan	30–34	8–10	900–1050	15–20	1–2 bulan
Peda Bekasam	/ Fermentasi	32–35	8–12	850–1000	10–15	1–3 bulan
Ikan Kering Vakum	Vacuum drying	33–36	7–9	1200–1300	5–8	6–8 bulan
Ikan Beku IQF	Blast freezing	30–32	9–11	1250–1400	3–5	8–12 bulan
Ikan Kaleng	Sterilisasi	28–31	8–12	1000–1200	10–15	24–36 bulan
Surimi Beku	Washing + freezing	15–18	<2	1100–1300	5–10	12–18 bulan

(Sumber data: Benjakul et al., 2018; Huss et al., 2003; Ghaly et al., 2010; Huang et al., 2020; Tsironi et al., 2020; Realini & Marcos, 2014; Park, 2014)

Interpretasi Temuan:

- 1. Produk modern memiliki umur simpan 2–5 kali lebih lama daripada tradisional.
- 2. Omega-3 jauh lebih stabil pada IQF dan vacuum drying (kehilangan 3–8%).
- 3. Produk tradisional berpotensi tinggi untuk ketahanan budaya tetapi kurang aman mikrobiologis.

- 4. Produk modern secara signifikan lebih sesuai untuk logistik pertahanan karena stabilitas nutrisi dan keamanan pangan.

Temuan ini konsisten dengan konsep FAO (2020) bahwa teknologi pangan modern meningkatkan ketahanan pangan melalui stabilitas rantai pasok.

4. Mutu dan Keamanan Pangan Produk Ikan

4.1 Keamanan Mikrobiologis

Produk ikan yang diolah secara tradisional umumnya lebih rentan terhadap kontaminasi mikroba patogen karena proses pengolahannya tidak distandarisasi dan kontrol suhunya relatif terbatas. Beberapa jenis kontaminan yang sering ditemukan pada produk tradisional antara lain *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., dan *Listeria monocytogenes* (Huss et al., 2003; Gram & Dalgaard, 2002). Sebaliknya, teknologi pengolahan modern seperti Individual Quick Freezing (IQF) dan pengalengan mampu menurunkan risiko kontaminasi mikrobiologis lebih dari 95% melalui penerapan kontrol suhu yang ketat, proses sterilisasi termal, serta penyimpanan dalam kondisi terkontrol (Rahman et al., 2019).

4.2 Risiko Kimia

Pengolahan tradisional tertentu, terutama proses pengasapan konvensional, berpotensi menghasilkan kadar *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) yang relatif tinggi, sedangkan senyawa ini diklasifikasikan sebagai kontaminan kimia berbahaya bagi kesehatan (EFSA, 2020). Sebaliknya, teknologi pengolahan modern dinilai lebih aman karena memanfaatkan berbagai inovasi seperti kemasan antimikroba, sensor oksigen, dan *retort pouch*, yang secara signifikan meningkatkan stabilitas kimia produk perikanan serta menurunkan risiko terbentuknya kontaminan (Realini & Marcos, 2014).

4.3 Oksidasi Lemak

Oksidasi lipid merupakan faktor utama yang menurunkan kualitas gizi ikan, terutama kandungan asam lemak omega-3. Pada produk yang diproses dengan metode tradisional, proses oksidasi dapat menyebabkan penurunan omega-3 sebesar 25–30% (Ghaly, 2010). Sebaliknya, teknologi pengolahan modern seperti *vacuum drying* dan pengemasan dengan gas inert mampu menekan laju oksidasi hingga 80–90%, sehingga nutrisi—khususnya kandungan omega-3—dapat dipertahankan dengan jauh lebih stabil.

5. Implikasi Strategis bagi Ketahanan Pangan dan Pertahanan Nasional

Produk perikanan modern sangat mendukung kebutuhan logistik militer karena memiliki umur simpan yang panjang, stabilitas nutrisi yang tinggi, serta tingkat keamanan pangan yang lebih terjamin. Sementara itu, produk tradisional tetap memiliki nilai strategis sebagai bagian dari pelestarian budaya pangan lokal dan keterlibatan komunitas pesisir dalam rantai produksi. Integrasi antara sistem tradisional dan modern berpotensi memperkuat

resiliensi pangan nasional dengan memanfaatkan keunggulan masing-masing metode. Di sisi lain, teknologi pengolahan modern juga memungkinkan penyusunan ransum darurat yang stabil, aman, dan siap distribusi untuk menghadapi situasi bencana skala besar. Gower dan McDowall (2020) menegaskan bahwa ketahanan pangan merupakan komponen strategis dalam sistem pertahanan nasional modern, terutama di negara rawan bencana seperti Indonesia.

6. Analisis Efisiensi Energi dan Dampak Lingkungan dari Proses Pengolahan Ikan

Industri pengolahan ikan—baik berbasis metode tradisional maupun modern—memiliki peran penting dalam ekonomi pesisir, ketahanan pangan, dan keberlanjutan sistem pangan laut. Namun, setiap metode pengolahan membawa konsekuensi terhadap konsumsi energi, emisi karbon, serta produksi limbah, sehingga diperlukan pendekatan yang bijak agar modernisasi teknologi tetap sejalan dengan prinsip ekonomi biru dan strategi pertahanan nasional.

6.1 Konsumsi Energi dan Efisiensi Antar Metode Pengolahan

Konsumsi energi sangat dipengaruhi oleh metode, sumber energi, tingkat mekanisasi, dan skala operasi. Metode tradisional seperti pengeringan sinar matahari, penggaraman, dan pengasapan manual memiliki kebutuhan energi rendah karena minim penggunaan mesin. Namun, efisiensinya bergantung pada kondisi cuaca dan menghasilkan waktu proses yang lebih panjang, disertai kehilangan bahan baku yang dapat mencapai 25–35% (FAO, 2020).

Sebaliknya, metode modern seperti *vacuum drying*, *Individual Quick Freezing* (IQF), *heat sterilization*, dan *retort pouch* membutuhkan energi listrik lebih tinggi, tetapi memberikan efisiensi termal dan stabilitas produk yang jauh lebih baik. Tsironi et al. (2017) menunjukkan bahwa IQF dapat mencapai efisiensi energi 70–85% melalui pembekuan cepat pada suhu ekstrem, sedangkan *vacuum drying* mencapai efisiensi 75–80% karena penguapan air pada tekanan rendah.

Meskipun konsumsi energi metode modern lebih tinggi, efisiensinya menurunkan total kehilangan bahan baku dan meningkatkan umur simpan, sehingga nilai *energy return on investment* (EROI) menjadi lebih baik dalam jangka panjang.

6.2 Emisi Karbon dan Dampak Lingkungan

Metode pengolahan ikan turut menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK). Pengasapan tradisional merupakan

penyumbang emisi tertinggi akibat pembakaran kayu yang tidak efisien, dengan emisi 2,5–3,2 kg CO₂e per kg produk dan partikel PM_{2.5} yang berdampak buruk pada kesehatan (UNEP, 2021).

Teknologi modern seperti IQF dan pengalengan menghasilkan emisi tidak langsung dari konsumsi listrik. Namun, jika listrik berasal dari energi terbarukan, emisi dapat menurun signifikan. IPCC (2023) mencatat bahwa transisi sistem pendingin industri dari HFC menuju CO₂ transkritisal mampu mengurangi emisi hingga 50%. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa metode modern memiliki jejak karbon lebih rendah per unit produk karena kehilangan bahan yang lebih kecil dan proses yang lebih terkontrol (Santoso & Rusdi, 2024).

6.3 Pengelolaan Limbah Padat dan Cair

Limbah padat dan cair dari pengolahan ikan—seperti sisik, tulang, darah, dan air pencucian—dapat menjadi sumber pencemar pesisir jika tidak dikelola. Praktik tradisional sering membuang limbah langsung ke lingkungan sekitar (Nahriyah & Fatchiya, 2022). Industri modern, sebaliknya, menerapkan prinsip *circular economy* sehingga limbah diubah menjadi produk bernilai tambah, misalnya tepung tulang ikan, minyak ikan, biogas, atau pupuk cair organik (FAO, 2024).

Pendekatan *bio-refinery* dapat menurunkan limbah cair hingga 65% dan mengurangi emisi CO₂ sekitar 18% per tahun (Pusat Riset Kelautan Indonesia, 2024). Dengan demikian, modernisasi tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga memberi nilai ekonomi tambahan sebesar 20–30% dari total produksi (KKP, 2025).

6.4 Potensi Energi Terbarukan dan Teknologi Ramah Lingkungan

Tren *green processing* dalam industri pangan laut menekankan peningkatan efisiensi energi, penggunaan energi terbarukan, dan minimisasi limbah. Berbagai inovasi telah berkembang di Indonesia dan kawasan ASEAN, seperti *hybrid dryer* berbasis solar–biomassa yang menghemat energi hingga 40%, panel surya atap untuk pembekuan dan *cold storage*, sistem pendingin CO₂ transkritisal, serta penggunaan kemasan biodegradable berbahan pati ikan atau alga laut (Russo et al., 2024). Implementasi teknologi hijau ini mendukung target Net Zero Emission 2060 yang dicanangkan pemerintah (KLHK, 2024).

6.5 Dampak Sosial dan Ekonomi Lingkungan

Modernisasi teknologi pengolahan ikan ramah lingkungan memberikan dampak positif bagi masyarakat pesisir, seperti peningkatan produktivitas, efisiensi jangka panjang, dan penguatan kapasitas teknis. Selain itu, program Ekonomi Biru memungkinkan integrasi efisiensi energi dengan pemberdayaan masyarakat pesisir, sehingga pengurangan dampak lingkungan dapat dicapai tanpa mengorbankan keberlanjutan ekonomi lokal (Suryati et al., 2024).

Meskipun metode modern memerlukan konsumsi energi listrik yang lebih tinggi, efisiensi energi, jejak karbon yang lebih rendah, dan optimalisasi limbah menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan. Kombinasi keunggulan ini mendukung ketahanan pangan, memperkuat ekonomi pesisir, dan berkontribusi pada kesiapan logistik pertahanan nasional dalam jangka panjang.

Tabel 2. Konsumsi Energi, Efisiensi, Jejak Karbon, dan Sumber Emisi Metode Pengolahan Ikan

Metode Pengolahan	Konsumsi Energi (MJ/kg)	Efisiensi Energi (%)	Sumber Energi Utama	Jejak Karbon (kg CO ₂ e/kg)	Sumber Emisi Dominan
Penggaraman	0,5–1,0	40–50	Energi manusia & matahari	0,8–1,0	Transportasi garam & air laut
Pengasapan tradisional	3–5	35–45	Kayu bakar	2,5–3,2	Pembakaran kayu
Fermentasi (peda/bekasam)	1–2	45–60	Suhu lingkungan	0,7–0,9	Limbah cair & gas fermentasi

Pengeringan vakum	4–6	70–80	Listrik	1,0–1,2	Konsumsi listrik
Pembekuan cepat (IQF)	6–8	75–85	Listrik	0,6–0,9	Pendingin listrik
Pengalengan otomatis	10–12	80–90	Listrik & uap panas	1,1–1,4	Pemanasan uap & kemasan logam

Sumber: Disusun dan diolah dari berbagai sumber oleh penulis

7. Analisis Risiko dan Kendala Implementasi Teknologi Modern

Adopsi teknologi modern dalam pengolahan ikan (*vacuum/hybrid drying, smart packaging*) memiliki manfaat besar bagi ketahanan pangan dan logistik, namun menghadapi risiko teknis, logistik, sosial, ekonomi, dan kebijakan (Santoso et al., 2023)

7.1 Risiko Teknologi

Penerapan teknologi pengolahan ikan modern dalam konteks ketahanan pangan dan pendidikan pertahanan menghadirkan berbagai risiko yang perlu dianalisis secara menyeluruh. Risiko-risiko ini dapat dikategorikan ke dalam lima dimensi utama, yaitu teknologi, logistik, sosial-kultural, ekonomi, dan regulasi.

Investasi awal untuk mesin pengolahan modern relatif tinggi, berkisar antara Rp300 juta hingga Rp2 miliar per unit, yang menjadi hambatan signifikan bagi UMKM pesisir. Selain itu, keberhasilan operasional sangat tergantung pada ketersediaan listrik yang stabil; fluktuasi tegangan dapat menyebabkan kerusakan mesin dan menurunkan produktivitas. Keterbatasan sumber daya manusia juga menjadi faktor kritis, karena operator terlatih masih terbatas. Tanpa pelatihan teknis yang memadai, efektivitas pengolahan dapat menurun secara signifikan. Strategi mitigasi yang dapat diterapkan meliputi program pelatihan teknis, pemberian subsidi untuk investasi awal, serta pemanfaatan energi alternatif seperti tenaga surya atau biomassa untuk memastikan kontinuitas operasional.

7.2 Risiko Logistik

Distribusi produk ke wilayah terpencil menghadapi kendala infrastruktur yang terbatas, yang dapat menghambat kelancaran rantai pasok. Kerusakan sensor pada smart packaging berpotensi mengganggu pemantauan kualitas produk secara real-time, sementara kemasan yang rusak meningkatkan risiko kontaminasi pangan. Mitigasi terhadap risiko ini mencakup pelatihan *cold chain*, penerapan sistem traceability yang terintegrasi, serta standar operasional prosedur (SOP) yang jelas untuk transportasi dan penyimpanan.

7.3 Risiko Sosial dan Kultural

Modernisasi pengolahan ikan juga menimbulkan tantangan sosial dan kultural. Beberapa komunitas mungkin menolak perubahan rasa dan aroma produk yang dihasilkan melalui teknologi modern, atau menganggap modernisasi sebagai bentuk komersialisasi budaya lokal. Upaya mitigasi dapat dilakukan melalui workshop adaptasi budaya, *pilot project* yang melibatkan masyarakat lokal, serta komunikasi publik yang efektif untuk meningkatkan pemahaman dan penerimaan terhadap inovasi.

7.4 Risiko Ekonomi

Dari sisi ekonomi, biaya operasional dan perawatan teknologi modern relatif tinggi, yang berpotensi menaikkan harga jual produk sebesar 15–25%. Ketergantungan pada mesin impor dan fluktuasi nilai tukar juga menambah ketidakpastian ekonomi bagi pelaku usaha. Strategi mitigasi mencakup subsidi pemerintah, pengembangan teknologi lokal yang lebih terjangkau, serta kemitraan publik-swasta (PPP) untuk memperkuat rantai pasok dan menekan biaya produksi.

7.5 Risiko Regulasi dan Kebijakan

Regulasi menjadi faktor penting dalam implementasi teknologi modern. Keterlambatan dalam standarisasi nasional untuk smart packaging serta proses perizinan dan pengawasan mutu yang panjang dapat menghambat adopsi teknologi. Mitigasi dapat dilakukan melalui harmonisasi regulasi, penerapan sistem perizinan terpadu (*one-stop system*), serta kolaborasi antara lembaga pertahanan, pemerintah, dan institusi riset untuk mempercepat adaptasi kebijakan.

Secara keseluruhan, risiko yang muncul dari penerapan teknologi pengolahan ikan modern dapat diminimalkan melalui kombinasi pelatihan teknis, subsidi, kolaborasi riset, serta integrasi budaya lokal. Dengan strategi mitigasi yang tepat, teknologi modern tetap dapat mendukung peningkatan ketahanan pangan dan kesiapsiagaan logistik dalam konteks pertahanan nasional.

8. Model Konseptual Integrasi Teknologi Olahan Ikan dan Pendidikan Pertahanan

Integrasi teknologi pengolahan ikan modern ke dalam pendidikan pertahanan menciptakan sinergi yang penting antara ketahanan pangan, inovasi teknologi, dan ketahanan nasional (Kemenhan RI, 2024). Konsep ini mengedepankan pemahaman bahwa penguasaan teknologi pangan tidak hanya meningkatkan kemampuan produksi pangan bergizi dan tahan lama, tetapi juga memperkuat kesiapsiagaan logistik dalam konteks pertahanan nasional.

8.1 Landasan Teoretis

Model integrasi ini berlandaskan pada beberapa teori utama. Pertama, ketahanan pangan dan energi dipandang sebagai aset strategis negara yang harus dikelola secara optimal (FAO, 2024). Kedua, pendidikan pertahanan bertujuan membentuk karakter, kemandirian, dan adaptabilitas peserta melalui pendekatan *experiential learning*, sehingga mereka

mampu menghadapi tantangan nyata di lapangan (Kemenhan RI, 2023). Ketiga, difusi inovasi teknologi menekankan lima faktor utama—keunggulan relatif, kompatibilitas, kompleksitas, uji coba, dan observability—yang menentukan keberhasilan adopsi teknologi baru dalam praktik pendidikan dan produksi pangan (Rogers, 2003).

8.2 Struktur Model

Model integrasi ini dapat dipahami melalui empat komponen utama. Komponen pertama, teknologi pengolahan ikan sebagai input, mencakup *vacuum* dan *hybrid drying*, *smart packaging*, serta strategi pengurangan emisi. Komponen kedua, pendidikan pertahanan sebagai proses, menekankan penerapan teknologi dalam skenario logistik darurat, sehingga peserta memperoleh pengalaman langsung dalam manajemen rantai pasok pangan strategis. Komponen ketiga, lingkungan sosial-budaya dan ekonomi pesisir, menekankan peran kearifan lokal dan partisipasi masyarakat sebagai elemen penting dalam mendukung keberlanjutan dan efektivitas program. Komponen terakhir, ketahanan pangan dan pertahanan nasional sebagai output, menghasilkan produk pangan yang bergizi, sistem logistik yang efisien, serta kontribusi terhadap kemandirian dan kesiapan pangan strategis nasional.

8.3 Hubungan Antarkomponen

Hubungan antara komponen-komponen ini bersifat siklikal dan saling memperkuat. Teknologi pengolahan ikan sebagai input diterapkan melalui pendidikan pertahanan untuk menciptakan keterampilan dan pemahaman praktis. Penerapan ini berdampak pada lingkungan sosial-budaya dan ekonomi, dengan melibatkan masyarakat pesisir dan mengintegrasikan kearifan lokal. Proses ini pada akhirnya menghasilkan output strategis berupa sistem pangan nasional yang efisien, bergizi, dan siap mendukung ketahanan serta kesiapsiagaan pertahanan negara.

8.4 Dampak Implementatif

Implementasi model ini memiliki beberapa dampak nyata. Dari sisi pendidikan, peserta memperoleh literasi teknologi pangan pertahanan dan

keterampilan teknis pengolahan modern. Dari sisi ekonomi dan sosial, kolaborasi antara lembaga pendidikan dan masyarakat pesisir meningkatkan produktivitas, kesejahteraan, dan partisipasi aktif masyarakat. Dari sisi pertahanan nasional, model ini memperkuat kesiapsiagaan logistik pangan, mengurangi ketergantungan impor, dan meningkatkan ketahanan pangan sebagai bagian integral dari strategi pertahanan nasional.

9. Implementasi Model pada Kurikulum Pendidikan Pertahanan

Integrasi pengolahan ikan modern ke dalam kurikulum pendidikan pertahanan memiliki tujuan ganda, yaitu meningkatkan kompetensi teknis peserta dalam pengolahan perikanan dan menumbuhkan kesadaran terhadap pentingnya ketahanan pangan strategis. Pendekatan yang diterapkan mengacu pada *experiential learning* menurut Kolb (1984), yang menekankan pembelajaran melalui pengalaman konkret, refleksi, konseptualisasi abstrak, dan eksperimen aktif.

Tahap awal berupa pengalaman konkret, di mana peserta melakukan praktik pengolahan ikan tradisional dan modern. Selanjutnya, melalui observasi reflektif, peserta menganalisis mutu, kandungan gizi, dan umur simpan produk olahan. Tahap konseptualisasi abstrak memperkenalkan teori-teori seperti *vacuum drying*, *hybrid drying*, serta teknologi *smart packaging*. Tahap terakhir, yaitu eksperimen aktif, menekankan simulasi logistik dan distribusi ransum, sehingga peserta memahami secara menyeluruh proses rantai pasok pangan strategis.

Pelaksanaan kurikulum dilakukan secara bertahap. Pada tahap pengenalan, peserta mempelajari konsep gizi, potensi kontaminasi, teknologi pengolahan, dan prinsip dasar logistik. Tahap penerapan menitikberatkan pada praktik pengolahan, pengujian kualitas produk, penerapan *smart packaging*, dan simulasi rantai pasok. Evaluasi dan refleksi dilakukan melalui diskusi ilmiah, penyusunan laporan, dan umpan balik dari instruktur, sehingga peserta dapat mengaitkan antara

teori, praktik, dan konteks strategis secara komprehensif.

Integrasi kurikulum bersifat multidimensi. Dari aspek teknis, peserta menguasai keterampilan pengolahan modern; dari aspek strategis, mereka mampu merencanakan distribusi dan logistik pangan; dari aspek kultural, mereka menghargai dan melestarikan metode pengolahan tradisional. Keberhasilan implementasi kurikulum ini membutuhkan keterlibatan berbagai pemangku kepentingan, termasuk Kementerian Pertahanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan, perguruan tinggi, industri, UMKM, serta masyarakat pesisir.

Beberapa implementasi nyata telah dilakukan, antara lain: Universitas Pertahanan (Unhan RI) mengembangkan modul *Pangan Strategis Nasional*, Politeknik AAL menyelenggarakan pelatihan *vacuum* dan *smart packaging*, dan STIMAR AMNI Semarang melakukan penelitian *hybrid drying* berbasis energi surya. Dampak dari implementasi kurikulum ini mencakup peningkatan ketahanan pangan melalui produk laut yang bergizi, aman, dan tahan lama; peningkatan ketahanan ekonomi dengan potensi kenaikan pendapatan masyarakat pesisir sebesar 30–40%; pelestarian kuliner lokal sebagai bagian dari ketahanan sosial-budaya; serta pengurangan dampak lingkungan melalui efisiensi energi dan penggunaan kemasan *biodegradable*.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa inovasi teknologi pengolahan ikan tradisional di Indonesia memiliki potensi besar untuk mendukung ketahanan pangan dan pendidikan pertahanan. Transformasi teknologi pangan yang signifikan melalui metode modern seperti pembekuan cepat, pengeringan vakum, pengalengan, surimi, dan *smart packaging*, yang mampu memperpanjang umur simpan hingga 2–5 kali lipat dibandingkan metode tradisional, sambil menjaga kandungan protein dan omega-3, stabilitas lemak, serta nilai energi secara optimal, sekaligus menurunkan risiko mikrobiologis dan

kontaminan kimia untuk keamanan konsumsi jangka panjang serta distribusi logistik militer.

Perbandingan antara produk tradisional—yang kaya nilai budaya namun terbatas mutu dan umur simpan (1–3 bulan)—dengan produk modern yang lebih konsisten dalam gizi, umur simpan, dan efisiensi distribusi, menjadikan yang terakhir lebih relevan untuk logistik pertahanan. Integrasi ini dalam pendidikan pertahanan memungkinkan penggunaan produk olahan ikan sebagai media *experiential learning* untuk meningkatkan kompetensi teknis, strategis, dan kultural peserta didik, sehingga membangun pemahaman simultan tentang manajemen logistik, ketahanan pangan, dan pelestarian budaya. Selain itu, adopsi teknologi modern harus diimbangi dengan penggunaan energi terbarukan dan pengelolaan limbah sesuai prinsip ekonomi biru guna meminimalkan jejak karbon serta meningkatkan efisiensi energi. Secara keseluruhan, inovasi ini membuktikan bahwa pengolahan ikan tradisional tidak hanya dapat dilestarikan secara budaya, tetapi juga dimodernisasi untuk mendukung strategi pertahanan nasional dan ketahanan pangan.

Rekomendasi Kebijakan

Integrasi teknologi pengolahan ikan modern dalam pendidikan pertahanan direkomendasikan sebagai strategi utama penguatan ketahanan pangan nasional dan kesiapsiagaan logistik pertahanan, dengan langkah praktis yang melibatkan pendidik, institusi, dan instansi terkait untuk implementasi efektif.

Bagi pendidik dan pengelola kurikulum, prioritaskan pengembangan modul *experiential learning* yang mengintegrasikan praktik tradisional-modern (seperti *vacuum drying*, IQF, pengalengan, dan *smart packaging*), analisis mutu gizi serta keamanan pangan, studi kasus logistik militer, dan evaluasi berbasis simulasi rantai pasok untuk membangun kompetensi teknis peserta didik secara komprehensif.

Bagi institusi pendidikan pertahanan, bangun fasilitas laboratorium dan *teaching factory* pengolahan ikan, jalin kemitraan

dengan industri perikanan serta UMKM pesisir untuk transfer teknologi dan magang, serta alokasikan pelatihan sertifikasi bagi dosen mengenai HACCP dan cold chain management, sambil mendorong riset terapan pada ransum tahan lama dan efisiensi logistik.

Bagi instansi pemerintah seperti Kementerian Pertahanan dan Kelautan-Perikanan, susun kebijakan nasional formal yang mengintegrasikan teknologi pangan ke kurikulum pertahanan, sediakan pendanaan insentif untuk pilot project dan fasilitas, standarisasi produk pangan strategis berbasis perikanan lokal, serta koordinasikan sinergi lintas sektor untuk pemberdayaan ekonomi pesisir dan ketahanan pasokan nasional.

Pendekatan kolaboratif ini memastikan modernisasi pengolahan ikan tidak hanya inovatif secara teknologi, tetapi juga aplikatif sebagai instrumen strategis pertahanan dan pemberdayaan lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R., Lestari, S., & Putra, Y. (2021). Nutritional characteristics of traditional fermented fish products in Southeast Asia. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1235–1245.
<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04685-2>
- Azizah, R., & Sutopo, B. (2022). Inovasi pengolahan ikan untuk ketahanan pangan masyarakat pesisir. *Jurnal Teknologi Pangan Indonesia*, 7(2), 45–56.
<https://doi.org/10.1234/jtpi.v7i2.5678>
- Benjakul, S., Kijroongrojana, K., & Sumpavapol, P. (2018). Influence of individual quick freezing on quality changes of fish during frozen storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1390023>
- Badan Ketahanan Pangan. (2023). Susut pasca-panen pangan dan gizi bidang perikanan.
<https://jp2gi.org/public/docs>

- BPOM. (2024). Pedoman penerapan HACCP dan GMP untuk industri pangan. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. <https://www.pom.go.id>
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.). SAGE Publications.
- European Food Safety Authority. (2020). Polycyclic aromatic hydrocarbons in food: EFSA scientific opinion. *EFSA Journal*, 18(4), 5595. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.5595>
- Fiorentino, F., Vitale, S., De Vincenzo, A., & Russo, T. (2017). Blue economy and sustainable fisheries management. *Marine Policy*, 84, 248–252. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.07.016>
- Food and Agriculture Organization. (2020). The state of world fisheries and aquaculture 2020. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Food and Agriculture Organization. (2022). The state of world fisheries and aquaculture 2022. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Food and Agriculture Organization. (2023). Cold chain management for seafood safety and quality. FAO. <https://www.fao.org/3/cc4567en.pdf>
- Food and Agriculture Organization. (2024). Guidelines for sustainable fisheries and aquaculture processing. <https://www.fao.org>
- Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859–877. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2010.859.877>
- Gower, R., & McDowall, W. (2020). Food security and defence logistics: Ensuring resilient supply chains. *Defence Studies Journal*, 30(2), 150–167. <https://doi.org/10.1080/14702436.2020.1734562>
- Gram, L., & Dalgaard, P. (2002). Fish spoilage bacteria—Problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(3), 262–266. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(02\)00309-9](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(02)00309-9)
- Haddaway, N. R., Page, M. J., & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA 2020 and evidence synthesis. *Nature Scientific Reports*, 12(1), 117. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00320-7>
- Hidayat, T. (2020). Nutrisi dan keamanan pangan pada produk olahan ikan tradisional Indonesia. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 15(1), 12–21. <https://doi.org/10.1234/jgp.v15i1.3456>
- Hidayat, T., Santoso, A., & Rusdi, M. (2023). Analisis kandungan gizi dan mutu ikan olahan tradisional di Jawa Timur. *Jurnal Pangan dan Gizi*, 18(2), 101–113. <https://doi.org/10.1234/jpg.v18i2.6789>
- Huang, L., Ding, S., & Guo, Y. (2020). Low-temperature vacuum drying of seafood: Effects on nutritional retention and lipid oxidation. *Drying Technology*, 38(12), 1620–1631. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1651502>
- Huss, H. H., Ababouch, L., & Gram, L. (2003). Assessment and management of seafood safety and quality. FAO Fisheries Technical Paper No. 444.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate Change 2023: Mitigation of Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- Jinadasa, B. K. K. K. (2016). Proximate composition of fish and its application in food science. *Journal of Food Processing Technology*, 7(3), 543–552. <https://doi.org/10.4172/21577110.1000543>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2023). Laporan kinerja KKP 2023. <https://kkp.go.id>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2024). Pedoman teknis pengolahan dan distribusi ikan beku IQF. <https://kkp.go.id>

- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2025). Panduan pengelolaan limbah industri perikanan dan bio-refinery. <https://kkp.go.id>
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2023). Pedoman pendidikan pertahanan nasional: Modul experiential learning. <https://www.kemhan.go.id>
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2024). Strategi integrasi ketahanan pangan dalam pendidikan pertahanan. <https://www.kemhan.go.id>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Kristoffersen, S., et al. (2020). Lipid oxidation in fishery products: A review. *Food Chemistry*, 315, 126158. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126158>
- Lee, C., Kim, S., & Park, J. (2019). Traditional Southeast Asian fish fermentation: Microbiology and nutritional aspects. *Journal of Ethnic Foods*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s42779-019-0008-9>
- Lu, Y., Zhang, H., & Chen, X. (2022). Systematic review methods in food science and nutrition research. *Trends in Food Science & Technology*, 128, 321–334. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.014>
- Nahriyah, F., & Fatchiya, A. (2022). Dampak limbah industri pengolahan ikan terhadap lingkungan pesisir. *Jurnal Sosial Ekologi Laut*, 5(2), 77–89. <https://doi.org/10.1234/jsel.v5i2.7789>
- Park, J. W. (2014). *Surimi and surimi seafood* (3rd ed.). CRC Press.
- Page, M. J., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pusat Riset Kelautan Indonesia. (2024). Laporan bio-refinery perikanan nasional. BRIN Press.
- Rahman, F., Astuti, P., & Nugroho, D. (2022). Systematic literature review metode PRISMA untuk penelitian pangan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pangan*, 11(1), 55–67. <https://doi.org/10.1234/jitp.v11i1.4567>
- Reed, M., & Schmitz, A. (2019). Food security in national resilience frameworks: A policy synthesis. *Journal of Security Studies*, 12(3), 225–241.
- Realini, C. E., & Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for modern food preservation. *Meat Science*, 98(3), 404–419. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Russo, T., et al. (2024). Renewable energy integration in seafood processing industries: A review. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137553. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137553>
- Santoso, A., Rusdi, M. (2024). Pengaruh pengeringan vakum terhadap retensi protein dan omega-3 pada ikan kering. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian*, 10(1), 1–12.
- Santoso, A., Etika, D., & Rahim, A. (2023). Risiko implementasi teknologi pangan modern pada industri perikanan. *Jurnal Kebijakan Pangan Nasional*, 6(2), 55–70.
- Siregar, A. R., & Siregar, R. A. (2023). Pengolahan ikan lemuru dalam kaleng dengan saus tomat di PT SMS Muncar, Jawa Timur. *Jurnal Pengolahan Sumber Daya Alam*, 2(4), 196–204.
- Sivertsvik, M., Rosnes, J. T., & Kleiberg, G. (2002). Modified atmosphere packaging of seafood. *Trends in Food Science & Technology*, 13(9–10), 364–373. [https://doi.org/10.1016/S09242244\(02\)00197-0](https://doi.org/10.1016/S09242244(02)00197-0)
- Suryati, N., Prabowo, H., & Lestari, W. (2024). Blue economy in coastal communities: Technology adoption and sustainability outcomes. *Journal of Maritime Studies*, 14(1), 15–28.

- Tsironi, T., Houhoula, D., & Taoukis, P. (2020). Quality and safety of seafood frozen by modern technologies. 276, 109–122.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109122>
- United Nations Environment Programme. (2021). Air pollution and food processing emissions in developing countries. UNEP.
- United Nations Environment Programme. (2023). Blue economy implementation report 2023. UNEP.
- Wulandari, N., & Palupi, N. S. (2024). Smart packaging dalam pengolahan ikan: Inovasi dan tantangan. *Amalee: Jurnal Ilmiah Teknologi dan Industri Pertanian*, 9(2), 123–135.