ISSN: 2830-0408

PERKEMBANGAN FROZEN FOOD HASIL LAUT MENGGUNAKAN SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW, PRISMA, DAN ANALISIS TEMATIK

Saiba Maranatha Berutu[a*], Disya Nur Fauzia[b], Retno Indriartiningtias [c]
[a b c] Teknik Industri, Universitas Trunodjoyo Madura, Jl. Raya Telang Perumahan Graha Trunojoyo, Kamal, Bangkalan dan 69162
* Corresponding author: 230421100076@student.trunojoyo.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan perkembangan penelitian dan teknologi pada produk *frozen food* hasil laut selama periode 2016–2026 serta menyusun *roadmap* penelitian berdasarkan perubahan fokus penelitian. *Systematic Literature Review* dilakukan dengan menggunakan kerangka *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* untuk mengorganisasi proses identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan pemilihan studi yang relevan. Sebanyak 15 studi dianalisis secara tematik berdasarkan tahun publikasi, fokus penelitian, teknologi atau pendekatan yang digunakan, serta kontribusinya terhadap pengembangan *frozen food* hasil laut. Studi tersebut dikelompokkan ke dalam tiga fase perkembangan, yaitu 2016–2019, 2020–2024, dan 2025–2026. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada periode 2016–2019, penelitian berfokus pada keamanan, mutu dasar, karakteristik fisikokimia, dan kualitas selama penyimpanan. Pada periode 2020–2024, fokus berkembang pada teknologi pembekuan, teknologi non-termal, pengemasan inovatif, digitalisasi, dan *Food Industry 4.0*. Pada periode 2025–2026, penelitian semakin mengarah pada efisiensi proses, manajemen rantai pasok, *Lean Manufacturing*, *Value Stream Mapping*, pengurangan *waste*, ekonomi sirkular, dan pendekatan *human-centric*. *Roadmap* yang dihasilkan menunjukkan adanya pergeseran dari pengendalian mutu produk menuju integrasi teknologi, efisiensi, digitalisasi, dan keberlanjutan.

Kata kunci: *frozen food* hasil laut, *systematic literature review*, *research roadmap*, ekonomi sirkular, teknologi pengolahan

ABSTRACT

This study aimed to map the evolution of research and technology in frozen seafood products from 2016 to 2026 and to develop a research roadmap based on changes in research focus. A systematic literature review was conducted using the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses framework to organize the identification, screening, eligibility assessment, and selection of relevant studies. A total of 15 studies were analyzed thematically based on publication year, research focus, technology or approach, and contribution to frozen seafood development. The studies were classified into three development phases: 2016–2019, 2020–2024, and 2025–2026. The results showed that research during 2016–2019 focused on safety, basic quality, physicochemical characteristics, and storage quality. During 2020–2024, the focus expanded to freezing technology, non-thermal processing, innovative packaging, digitalization, and Food Industry 4.0. During 2025–2026, research increasingly addressed process efficiency, supply chain management, lean manufacturing, value stream mapping, waste reduction, circular economy, and human-centric approaches. The resulting roadmap indicated a shift from product quality control toward technology integration, efficiency, digitalization, and sustainability.

Keywords: *frozen seafood, systematic literature review, research roadmap, circular economy, processing technology*

ISSN: 2830-0408

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi hasil perikanan yang besar. Hasil perikanan tidak hanya dapat dimanfaatkan dalam bentuk ikan segar, tetapi juga dapat diolah menjadi berbagai produk pangan yang memiliki nilai tambah. Salah satu bentuk pengolahan yang berkembang adalah produk *frozen food* berbahan dasar hasil perikanan. Pengolahan menjadi produk beku dapat menjadi salah satu alternatif dalam memperpanjang masa simpan dan meningkatkan nilai tambah hasil perikanan melalui pengembangan produk yang lebih praktis dan mudah dipasarkan. Produk hasil laut merupakan bahan pangan yang relatif mudah mengalami penurunan mutu sehingga memerlukan pengendalian sejak penanganan awal, pengolahan, penyimpanan, hingga distribusi. Pembekuan menjadi salah satu pendekatan penting karena dapat memperpanjang umur simpan dengan menurunkan aktivitas mikroorganisme dan memperlambat perubahan kimia. Namun, pembekuan dan penyimpanan tidak sepenuhnya menghentikan perubahan mutu. Perubahan suhu, lama penyimpanan, pembentukan kristal es, oksidasi lipid, serta perubahan protein dapat memengaruhi karakteristik produk akhir.[1]-[2]

Salah satu wilayah yang memiliki potensi hasil perikanan adalah Desa Pasongsongan, Kabupaten Sumenep. Berdasarkan pengamatan awal, pemanfaatan hasil ikan di wilayah tersebut mulai diarahkan tidak hanya untuk konsumsi ikan segar, tetapi juga untuk pengembangan produk olahan seperti pentol ikan. Meskipun demikian, pengembangan produk *frozen food* berbahan dasar hasil ikan di tingkat lokal masih berada pada tahap perkembangan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang untuk mengembangkan pengolahan hasil perikanan menjadi produk yang memiliki nilai tambah, baik dari aspek produk, proses produksi, pengemasan, maupun penyimpanan. Perkembangan tersebut kemudian menimbulkan pertanyaan mengenai bagaimana perkembangan *frozen food* hasil laut secara lebih luas selama beberapa tahun terakhir. Pengembangan produk *frozen food* tidak hanya berkaitan dengan proses pembekuan, tetapi juga mencakup aspek mutu dan keamanan pangan, teknologi pembekuan, pengemasan, digitalisasi, efisiensi proses, rantai pasok, hingga keberlanjutan. Berbagai aspek tersebut telah menjadi perhatian dalam penelitian internasional dengan pendekatan dan teknologi yang semakin beragam. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan terhadap perkembangan penelitian *frozen food* untuk mengetahui perubahan fokus dan arah pengembangannya. Kajian terhadap perkembangan *frozen food* selama periode tertentu dapat memberikan gambaran mengenai bagaimana penelitian pada bidang tersebut berubah dari waktu ke waktu. Informasi tersebut dapat menjadi dasar untuk memahami kecenderungan teknologi dan pendekatan yang digunakan dalam pengembangan produk *frozen food* hasil laut. Namun, informasi dari berbagai penelitian masih tersebar pada sejumlah publikasi dengan topik yang berbeda, sehingga diperlukan pendekatan yang sistematis untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan perkembangan tersebut.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan menggunakan Systematic Literature Review (SLR) dengan kerangka Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) serta analisis tematik untuk memetakan perkembangan *frozen food* hasil laut selama periode 2016–2026. Hasil kajian diharapkan dapat menunjukkan perubahan fokus penelitian dari aspek mutu dan keamanan, perkembangan teknologi dan inovasi, hingga efisiensi proses dan keberlanjutan. Pemetaan tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk roadmap perkembangan *frozen food* hasil laut yang dapat memberikan gambaran mengenai arah perkembangan bidang tersebut selama 10 tahun terakhir. Penelitian pada periode awal perkembangan kajian frozen food hasil laut banyak diarahkan pada pengendalian keamanan mikrobiologis dan pemahaman perubahan mutu selama penyimpanan. Sanjee et al.[3] mengevaluasi kualitas mikrobiologis ikan beku dan bahan pendukung proses, sedangkan He et al.[4] mengkaji perubahan struktur jaringan dan komposisi kimia ikan selama penyimpanan beku. Luan et al.[5] menggunakan dimensi fraktal sebagai salah satu pendekatan untuk mengevaluasi perubahan mikrostruktur ikan selama *frozen storage*. Baryczka et al.[6] membandingkan karakteristik ikan yang disimpan dalam kondisi dingin dan beku. Rangkaian penelitian tersebut menunjukkan bahwa fase awal pengembangan frozen food lebih kuat pada aspek mutu produk dan kestabilan selama penyimpanan.

ISSN: 2830-0408

Perkembangan selanjutnya memperluas perhatian dari sekadar mempertahankan mutu menuju pencarian metode pembekuan dan pengawetan yang lebih efektif. Kajian mengenai teknologi pembekuan ikan menunjukkan bahwa metode pembekuan, suhu pembekuan, dan suhu penyimpanan berhubungan dengan perubahan kristal es, protein, lipid, dan nilai gizi [5]. Penelitian lain mengkaji teknologi pembekuan dan pencairan yang lebih baru karena siklus beku–cair berulang dapat memengaruhi kapasitas menahan air, tekstur, oksidasi protein, dan oksidasi lipid [6].

Pada periode 2020–2024, teknologi non-termal berkembang sebagai salah satu arah inovasi [1]. Pada saat yang sama, inovasi pengemasan mulai berkembang dari kemasan konvensional menuju smart packaging yang memanfaatkan indikator waktu–suhu, sensor, dan sistem identifikasi untuk memberikan informasi kondisi produk. Digitalisasi kemudian memperluas ruang lingkup inovasi dari unit proses menuju sistem produksi dan rantai pasok. Konsep *Food Quality* 4.0 menempatkan artificial intelligence, big data, sensor pintar, otomatisasi, dan teknik analisis non-destruktif sebagai teknologi yang dapat mendukung penilaian mutu pangan secara lebih cepat dan objektif. Digital twin juga mulai dikaji untuk pemantauan dan prediksi pada sistem pangan dengan memanfaatkan representasi digital dan data waktu nyata [7].

Memasuki periode 2025–2026, orientasi penelitian semakin terhubung dengan efisiensi operasi dan keberlanjutan. Kittichotsatsawat et al. [8] menunjukkan penerapan line balancing, Value Stream Mapping, dan ECRS pada produksi udang beku untuk memperbaiki proses produksi. Saraswati [9] menggunakan Current State Value Stream Mapping dan identifikasi waste pada produksi udang beku. Pada sisi keberlanjutan, ekonomi sirkular mulai diarahkan pada pemanfaatan hasil samping dan limbah seafood sebagai sumber bahan bernilai tambah [8]-[9].

Perubahan tersebut menunjukkan bahwa perkembangan frozen food hasil laut tidak hanya berkaitan dengan peningkatan kualitas produk, tetapi juga bergerak menuju pengelolaan sistem produksi yang lebih efisien, terdigitalisasi, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan yang dapat menggambarkan perubahan fokus penelitian dari waktu ke waktu serta hubungan antara teknologi yang berkembang dengan kebutuhan industri frozen food hasil laut.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Frozen Food Hasil Laut

Frozen food hasil laut adalah produk perikanan yang dipertahankan pada kondisi beku untuk memperlambat kerusakan mikrobiologis, kimia, dan fisik. Pembekuan tidak hanya dipahami sebagai tahap pengawetan, tetapi sebagai bagian dari rantai proses yang meliputi penanganan bahan baku, pembekuan, penyimpanan, transportasi, pencairan, dan penyajian. Karena itu, kualitas akhir produk dipengaruhi oleh kombinasi kondisi proses dan kondisi rantai dingin [3]. Kualitas frozen seafood dapat dilihat melalui beberapa indikator, seperti perubahan mikrostruktur, kapasitas menahan air, tekstur, oksidasi lipid dan protein, serta parameter kimia dan mikrobiologis. Pembentukan dan pertumbuhan kristal es menjadi salah satu faktor penting karena kristal es dapat merusak struktur jaringan dan memengaruhi sifat produk setelah pencairan [4].

2.2 Teknologi Pembekuan dan Pengawetan

Perkembangan teknologi pembekuan mengarah pada upaya mengendalikan pembentukan kristal es dan mengurangi kerusakan jaringan dan Ma et al. [10] menunjukkan bahwa teknologi pembekuan dan pencairan terus berkembang untuk meningkatkan kualitas produk. Pressure-shift freezing juga telah dibandingkan dengan air freezing dan liquid immersion untuk melihat pengaruh metode pembekuan terhadap mutu ikan selama penyimpanan. Selain pembekuan, teknologi non-termal memberikan pendekatan tambahan untuk mempertahankan keamanan dan kualitas seafood. Tan et al. [11] menjelaskan bahwa pembentukan kristal es merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi penurunan kualitas produk akuatik selama proses pembekuan dan penyimpanan. Ukuran, jumlah, distribusi, dan bentuk kristal es dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu nukleasi, titik beku, laju pembekuan, dan fluktuasi suhu. Kristal es yang terbentuk dapat memengaruhi kandungan air, tekstur, dan protein pada produk, sehingga pengendalian pembentukan dan pertumbuhan kristal es menjadi penting dalam

ISSN: 2830-0408

mempertahankan kualitas frozen food hasil laut. Kajian tersebut juga membahas berbagai teknologi yang dapat digunakan untuk mengendalikan pembentukan kristal es dalam proses pembekuan.

Zhu et al. [12] mengkaji strategi perlindungan pada seafood beku untuk mengurangi kerusakan yang terjadi selama proses pembekuan. Pembentukan kristal es dapat memicu perubahan fisik dan biokimia, seperti perubahan struktur protein, agregasi protein, dan oksidasi lipid yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas produk. Kajian ini membahas penggunaan cryoprotectant yang memiliki kemampuan mengikat es sekaligus menstabilkan komponen produk. Beberapa bahan yang dikaji meliputi ice-binding proteins, antifreeze peptides, polifenol, polisakarida, dan nanomaterial. Pendekatan tersebut diarahkan untuk menghambat pertumbuhan atau rekristalisasi kristal es serta mempertahankan kestabilan komponen seafood selama pembekuan dan penyimpanan.

2.3 Pengemasan dan Digitalisasi

Pengemasan pada frozen food berfungsi menjaga produk dari lingkungan eksternal dan mendukung kestabilan selama distribusi. Perkembangannya mengarah pada active packaging dan smart packaging. Pada seafood, smart packaging dapat memanfaatkan indikator waktu–suhu, sensor, dan RFID untuk memberikan informasi mengenai kondisi produk sepanjang penyimpanan [13]. Digitalisasi juga mengubah cara mutu pangan dipantau. Food Quality 4.0 memanfaatkan AI, big data, sensor pintar, otomatisasi, dan teknik analisis digital untuk mendukung penilaian mutu. Digital twin pada industri pangan juga berpotensi mendukung monitoring, prediksi, traceability, dan integrasi data dari rantai pasok [7].

2.4 Lean Manufacturing dan Rantai Pasok

Lean manufacturing berfokus pada identifikasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan pengurangan waste dalam proses. Value Stream Mapping dapat digunakan untuk menggambarkan aliran material dan informasi serta membantu melihat waktu proses, waktu tunggu, dan aktivitas yang tidak bernilai tambah. Pada produksi frozen shrimp, Kittichotsatsawat et al. [8] mengintegrasikan VSM dan line balancing untuk memperbaiki proses, sedangkan Saraswati [9] menggunakan Current State VSM dan identifikasi waste untuk menganalisis proses produksi udang beku. Di tingkat rantai pasok, digital transformation dapat menghubungkan Internet of Things, cloud computing, dan big data analytics untuk mendukung integrasi informasi. Wang et al. [12] menekankan bahwa transformasi digital pada food supply chain memerlukan tahapan implementasi yang menghubungkan pengumpulan data, pengelolaan data, analisis, dan penerapan hasil analisis.

2.5 Ekonomi Sirkular pada Produk Hasil Laut

Ekonomi sirkular adalah model produksi dan konsumsi yang bertujuan memperpanjang siklus hidup produk dan meminimalkan limbah dengan cara menggunakan kembali, memperbaiki, dan mendaur ulang material secara terus-menerus. Ekonomi sirkular menempatkan hasil samping dan limbah sebagai sumber daya yang dapat digunakan kembali atau diubah menjadi produk bernilai tambah. Pada sektor seafood, pendekatan ini mencakup pemanfaatan hasil samping pengolahan, pemulihan nutrien, pengembangan bahan fungsional, dan pemanfaatan biomassa untuk produk lain [8]. Cooney et al. [14] mengusulkan kerangka bertahap untuk valorisasi hasil samping seafood, meninjau penerapan life cycle assessment pada biorefinery limbah seafood. Pendekatan ini memperluas tujuan pengolahan dari sekadar menghasilkan produk menjadi pengelolaan sumber daya yang lebih efisien.

3. Metode Penelitian

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Systematic Literature Review (SLR) dengan kerangka PRISMA dan pendekatan analisis tematik. SLR digunakan untuk mengidentifikasi, menyeleksi, dan mensintesis penelitian yang relevan secara sistematis. PRISMA digunakan sebagai kerangka pelaporan proses seleksi literatur, sedangkan analisis tematik digunakan untuk mengelompokkan isi penelitian berdasarkan fokus dan periode.

ISSN: 2830-0408

3.2 Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dirancang menggunakan kata kunci yang mewakili objek dan tema penelitian, yaitu “Hasil laut, frozen food”, “frozen seafood”, “seafood freezing”, “seafood preservation”, “seafood packaging”, “food quality 4.0”, “food industry 5.0”, “lean manufacturing”, “value stream mapping”, “seafood supply chain”, dan “circular economy seafood”. Basis data yang digunakan pada pelaksanaan pencarian perlu dicantumkan sesuai sumber pencarian aktual, misalnya Scopus, Web of Science, ScienceDirect, dan Google Scholar. Rentang kajian ditetapkan 2016–2026.

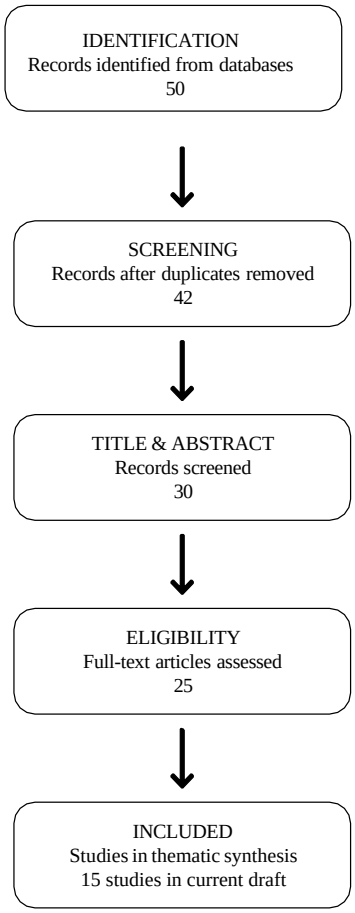
3.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

- Tahun publikasi: 2016–2026; publikasi di luar periode hanya digunakan bila diperlukan sebagai dasar teori.
- Objek: frozen food/seafood atau teknologi yang relevan dengan pengembangan seafood.
- Jenis publikasi: artikel jurnal/prosiding ilmiah yang dapat ditelusuri.
- Fokus: mutu, freezing, preservation, packaging, digitalisasi, supply chain, lean/VSM, circular economy, dan keberlanjutan.
- Eksklusi: sumber yang tidak berkaitan dengan hasil laut, tidak relevan dengan fokus kajian, atau tidak menyediakan informasi penelitian yang memadai.

3.4 Proses Seleksi Literatur Berdasarkan PRISMA

Proses seleksi mengikuti empat tahap utama, yaitu identification, screening, title dan abstrak, eligibility, dan included. Jumlah artikel pada setiap tahap harus berasal dari hasil pencarian aktual agar tidak terjadi klaim data yang tidak terverifikasi. Gambar 1 menunjukkan format alur PRISMA yang dapat diisi setelah pencarian literatur selesai.

ISSN: 2830-0408



Gambar 1 format alur PRISMA

3.5 Ekstraksi Data

Informasi dari artikel terpilih diekstraksi ke dalam matriks yang memuat tahun publikasi, peneliti, objek penelitian, teknologi atau pendekatan, hasil utama, dan tema. Artikel yang terpilih merupakah perwakilan perkembangan dari tahun ke tahun. Matriks tersebut menjadi dasar pengelompokan dan sintesis tematik.

Tabel 1 Ekstraksi Data artikel

No	Tahun	Peneliti	objek penelitian	Teknologi / pendekatan	Hasil Utama	Tema
1	2016	Sanjee et al.	Frozen fish	Analisis mikrobiologi	Menjadi dasar pengembangan frozen seafood dari aspek keamanan mikrobiologis dan kelayakan konsumsi (Total viable count, coliform, Salmonella, Vibrio cholerae)	Keamanan & Kualitas Mikrobiologis Frozen Fish
2	2017	He et al.	Frozen tilapia	Eksperimen penyimpanan beku	Mengembangkan evaluasi kualitas frozen fish berdasarkan perubahan struktur jaringan dan kimia selama penyimpanan (Fractal dimension, hardness, springiness, moisture, water activity, lipid oxidation, TVBN)	Evaluasi Kualitas & Perubahan Struktur Frozen Tilapia
3	2018	Luan et al.	Ikan hairtail	Eksperimen frozen storage + analisis fractal dimension	Mengembangkan indikator kualitas dan prediksi umur simpan berdasarkan perubahan mikrostruktur (Suhu penyimpanan, water activity, warna, hardness, springiness, chewiness, mikrostruktur)	Prediksi Umur Simpan & Analisis Fraktal Ikan Hairtail
4	2019	Baryczka et al.	Fillet ikan lele Afrika	Eksperimen komparatif	Menunjukkan pengaruh kondisi penyimpanan terhadap komposisi, sifat fisikokimia dan kualitas frozen fish (Moisture, protein, fat, ash, collagen, TBARS, water-holding capacity, cooking loss, tenderness)	Kualitas Fillet Ikan Lele Afrika (Chilled vs Frozen)

ISSN: 2830-0408

No	Tahun	Peneliti	objek penelitian	Teknologi / pendekatan	Hasil Utama	Tema
5	2020	Nakazawa et al.	Frozen seafood	Review	Mengidentifikasi faktor utama yang memengaruhi kualitas frozen seafood dan menjadi dasar optimasi proses freezing dan frozen storage (Protein denaturation, ice crystal, drip loss, storage temperature, oxidation, thawing)	Faktor Penentu Kualitas Frozen Seafood & Optimasi Proses
6	2021	Ma et al.	Large yellow croaker	Eksperimen ultrasound-assisted freezing	Mulai mengarah pada teknologi pembekuan berbantuan ultrasound untuk mempercepat freezing dan mempertahankan kualitas (Freezing rate, texture, microstructure, quality properties)	Teknologi Pembekuan Ultrasound (Ultrasound-Assisted Freezing)
7	2022	Sireesha et al.	Produk seafood (ikan, udang, kerang, salmon, makarel, dll.)	Systematic Review	Memberikan wawasan komprehensif serta landasan pengembangan teknologi non-termal berbasis gelombang ultrasonik pada industri seafood guna menghemat konsumsi energi dan mengurangi kerusakan	Aplikasi Teknologi Non-Termal Ultrasonik pada Seafood
8	2022	Dağtekin.	Surimi dan produk berbasis surimi (fish balls, kamaboko, chikuwa, crabstick) dari berbagai ikan laut dan air tawar	Literature Review dan metode pengawetan/pemrosesan non-termal	Memberikan panduan dalam pengembangan produk surimi siap saji (ready-to-eat) yang lebih sehat (rendah kalori dan garam) dengan memanfaatkan metode pemrosesan non-termal yang mampu menjaga kualitas dan sifat fungsional surimi	Teknologi Surimi & Inovasi Produk Siap Saji
9	2022	Hassoun et al.	Pengolahan, pengawetan/preservasi, dan teknik analisis kualitas produk seafood di era Industri 4.0	Comprehensive Review	Menjadi acuan dalam mengintegrasikan teknologi Industri 4.0 (sensor pintar, otomatisasi, kecerdasan buatan/AI, dan digitalisasi) ke dalam pengolahan dan analisis mutu seafood menuju sistem produksi yang lebih ramah lingkungan	Digitalisasi & Industri 4.0 dalam Pengolahan Seafood
10	2023	Russo et al.	Produk seafood (ikan, krustasea, moluska, dan kerang-kerangan)	Comprehensive Review dan Metode SWOT	Menyintesis efektivitas teknologi pemrosesan baru serta mengevaluasi keunggulan, kelemahan, peluang, dan tantangan adopsinya untuk menjaga kualitas nutrisi, keamanan mikroba, dan efisiensi energi di industri	Teknologi Baru & Evaluasi SWOT Industri Seafood
11	2024	Siddiqui et al.	Produk seafood segar, teknik pengawetan, dan teknologi pengemasan UKM (SMEs)	Tinjauan sistematis dan meta-analisis menggunakan pedoman PRISMA terhadap literatur	Mengidentifikasi efektivitas intervensi teknologi modern (HPP, MAP, pengemasan aktif/vakum) dalam meminimalkan pembusukan dan memperpanjang umur simpan	Teknologi Pengawetan & Pengemasan Modern Seafood Segar
12	2024	Madhavan et al.	UKM pengolahan makanan laut (seafood processing) di Thailand	Survei penilaian mandiri (self-assessment scale) berbasis literatur dan analisis persentase terhadap 7 faktor	Menyediakan alat ukur kesiapan Industri 5.0 bagi UKM pengolahan seafood serta memetakan tingkat adopsi teknologi dari manual hingga berpusat pada manusia (human-centric)	Kesiapan Industri 5.0 pada UKM Pengolahan Seafood
13	2025	Chen et al.	Sistem pembekuan pada pemrosesan ikan beku (frozen fish processing)	Function Analysis (FA), Substance-Field Analysis (SFA), Quality Function Deployment (QFD) yang diintegrasikan	Memberikan pendekatan sistematis yang dapat direplikasi untuk mengatasi fluktuasi suhu lingkungan, meningkatkan efisiensi energi, dan memperkuat sirkularitas produksi makanan beku	Sirkularitas Produksi Makanan Beku & Inovasi Sistematis
14	2025	Kittichotsatsawat et al.	Rantai pasok dan proses produksi udang beku ekspor (IQF shrimp: EZP, PDTO, PDTL)	Integrasi Value Stream Mapping (VSM), Line Balancing (LB), teknik ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange)	Menyediakan kerangka kerja holistik untuk mengoptimalkan efisiensi rantai pasok, mengurangi waste, menurunkan lead time, dan mendukung keberlanjutan proses produksi udang beku	Optimalisasi Rantai Pasok & Efisiensi Produksi Udang Beku

ISSN: 2830-0408

No	Tahun	Peneliti	objek penelitian	Teknologi / pendekatan	Hasil Utama	Tema
15	2026	Saraswati et al.	Proses produksi pengolahan udang beku monodon HLSO (Headless, Shell Off) di PT XYZ	Lean Manufacturing menggunakan Current State Value Stream Mapping (VSM), klasifikasi aktivitas produksi (VA, NVA, NNVA), serta identifikasi dan analisis waste	Menjadi model alternatif pembelajaran dan pengembangan dalam meminimasi waste produksi perikanan bernilai tinggi guna meningkatkan produktivitas dan menurunkan biaya operasional	Lean Manufacturing & Minimasi Waste pada Udang Beku

3.6 Analisis Tematik

Analisis tematik dilakukan dengan membaca dan mengelompokkan temuan berdasarkan kesamaan fokus penelitian. Tema yang digunakan meliputi (1) mutu dan keamanan, (2) teknologi pembekuan dan pengawetan, (3) pengemasan, (4) digitalisasi dan Industry 4.0/5.0, (5) efisiensi proses dan Lean/VSM, (6) manajemen rantai pasok, serta (7) circular economy dan keberlanjutan. Setelah pengelompokan, tema dibandingkan antarperiode untuk melihat arah evolusinya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perkembangan Penelitian Periode 2016–2019

Pemetaan pada periode 2016–2019 menunjukkan bahwa penelitian frozen food hasil laut banyak menempatkan mutu dan keamanan produk sebagai perhatian utama. Fokus tersebut mencakup keamanan mikrobiologis, perubahan struktur jaringan, komposisi kimia, karakteristik selama frozen storage, dan pengaruh kondisi penyimpanan. Sanjee
[3] menunjukkan pentingnya pengujian mikrobiologis pada ikan beku dan material pendukung pengolahan. Kajian He et al. [4] memperlihatkan bahwa perubahan struktur jaringan dan komposisi kimia dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas ikan selama penyimpanan beku. Luan et al. [5] mengembangkan pendekatan berbasis dimensi fraktal untuk melihat perubahan mikrostruktur hairtail pada beberapa kondisi suhu penyimpanan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa struktur mikro dapat menjadi indikator perubahan kualitas. Baryczka et al. [6] juga menunjukkan bahwa kondisi penyimpanan dingin dan beku dapat menghasilkan perbedaan karakteristik fisikokimia pada fillet ikan. Dengan demikian, fase 2016–2019 dapat dipahami sebagai fase penguatan fondasi mutu. Pertanyaan utama penelitian pada fase ini adalah bagaimana produk dapat tetap aman, memiliki karakteristik yang dapat diterima, dan mempertahankan mutunya selama penyimpanan. Fokus teknologi masih kuat pada pengukuran dan pengendalian kualitas produk.

Dengan demikian, periode 2016–2019 dapat disimpulkan sebagai fase penguatan fondasi mutu dan keamanan frozen food hasil laut. Penelitian pada periode ini terutama berfokus pada pengujian keamanan mikrobiologis, evaluasi perubahan struktur dan komposisi produk, serta pengaruh suhu dan kondisi penyimpanan terhadap kualitas ikan beku. Pendekatan yang digunakan masih dominan berupa pengukuran, pengujian, dan evaluasi kualitas produk, sehingga menjadi dasar bagi perkembangan penelitian selanjutnya yang mulai mengarah pada inovasi teknologi pembekuan, pengolahan, pengemasan, dan digitalisasi pada periode 2020–2024.

4.2 Perkembangan Penelitian Periode 2020–2024

Periode 2020–2024 menunjukkan perluasan fokus dari pengukuran mutu menuju inovasi proses dan teknologi. Nakazawa et al. [1] merangkum perkembangan pembekuan dan *frozen storage* ikan, termasuk pengaruh suhu dan metode pembekuan terhadap kristal es, protein, lipid, dan nilai gizi. Yang et al. [10] juga menunjukkan perkembangan teknologi pembekuan dan pencairan serta pentingnya mengendalikan siklus beku–cair. Erikson et al. [15] menunjukkan bahwa perkembangan pengolahan *frozen food* hasil laut

ISSN: 2830-0408

semakin memperhatikan keterkaitan antara proses pembekuan, penyimpanan beku, pencairan, dan penyimpanan setelah pencairan terhadap kualitas produk. Pengendalian suhu dan kondisi penyimpanan menjadi faktor penting untuk mempertahankan tekstur, kemampuan menahan air, dan umur simpan ikan beku. Perkembangan teknologi pengolahan juga terlihat dari meningkatnya penerapan teknologi non-termal. Sireesha et al. [16] mengkaji penerapan teknologi ultrasonik dalam pengolahan dan pengawetan seafood yang berpotensi meningkatkan efisiensi proses, mengendalikan mikroorganisme, serta mempertahankan karakteristik kualitas dan nutrisi produk. Dağtekin [17] juga membahas penggunaan berbagai teknologi non-termal, seperti *high-pressure processing* (HPP), ultrasonikasi, ultraviolet, *microwave*, dan *ohmic heating* pada produk berbasis surimi. Teknologi tersebut diarahkan untuk mengurangi dampak pengolahan terhadap kualitas serta mempertahankan tekstur dan sifat fungsional produk. Rathod et al. [18] turut mengkaji teknologi *cold plasma*, *pulsed electric field*, dan *high hydrostatic pressure* untuk seafood. Teknologi tersebut diarahkan pada pengendalian mikroorganisme dan aktivitas enzim dengan tetap memperhatikan kualitas dan nilai gizi produk. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian pada periode tersebut mulai bergeser dari metode pengawetan konvensional menuju teknologi yang lebih inovatif dan mampu mempertahankan karakteristik produk. Pada sisi pengemasan dan pengawetan, perkembangan teknologi juga semakin terintegrasi dengan upaya memperpanjang umur simpan dan mempertahankan kualitas produk. Siddiqui et al. [19] mengidentifikasi penerapan teknologi seperti HPP, *modified atmosphere packaging* (MAP), biopreservasi, *active packaging*, dan *vacuum packaging* dalam pengawetan seafood. Teknologi tersebut diarahkan untuk meminimalkan pembusukan dan memperpanjang umur simpan dengan mempertimbangkan jenis produk serta kondisi penyimpanan. Perkembangan ini memperlihatkan perubahan fungsi kemasan dari sekadar pelindung fisik menjadi bagian dari sistem pengendalian dan penyampaian informasi mengenai mutu produk.

Digitalisasi menjadi perkembangan lain yang semakin kuat pada periode ini. Hassoun et al. [7] memperkenalkan konsep *Food Quality 4.0* sebagai pemanfaatan teknologi *Industry 4.0* dalam analisis mutu pangan. Henrichs et al. [20] mengkaji *digital twin* pada industri pangan untuk mendukung kegiatan *monitoring* dan *prediction*. Sridhar et al. [21] menunjukkan bahwa digitalisasi sektor *agro-food* dapat mendukung otomatisasi, efisiensi proses, keamanan pangan, *traceability*, dan pengelolaan sumber daya. Periode ini juga menunjukkan bahwa digitalisasi tidak berdiri sendiri. Selain perkembangan menuju Industri 4.0, penelitian pada periode 2024 mulai mengarah pada konsep Industri 5.0 yang lebih menekankan keterlibatan manusia dan keberlanjutan. Madhavan et al. [22] mengkaji tingkat kesiapan UKM pengolahan seafood dalam menerapkan praktik Industri 1.0 hingga Industri 5.0. Hasil kajian menunjukkan adanya arah pengembangan menuju sistem produksi yang lebih berpusat pada manusia (*human-centric*), berkelanjutan, dan tangguh (*resilient*). Perkembangan ini menunjukkan bahwa inovasi pada industri seafood tidak hanya diarahkan pada peningkatan otomatisasi dan digitalisasi, tetapi juga mulai mempertimbangkan hubungan antara teknologi, manusia, dan keberlanjutan sistem produksi.

Dengan demikian, periode 2020–2024 menunjukkan pergeseran yang semakin luas dari fokus pada kualitas produk menuju integrasi kualitas, teknologi proses, pengemasan, digitalisasi, dan sistem produksi. Perkembangan teknologi non-termal, pengemasan modern, Food Industry 4.0, hingga munculnya pendekatan Industry 5.0 menunjukkan bahwa pengembangan frozen food hasil laut mulai diarahkan pada proses yang lebih efisien, terkontrol, informatif, dan berorientasi pada keberlanjutan. Perkembangan

ISSN: 2830-0408

tersebut kemudian menjadi dasar bagi arah penelitian pada periode 2025–2026 yang semakin menekankan efisiensi operasional, pengurangan waste, keberlanjutan rantai pasok, dan ekonomi sirkular.

4.3 Perkembangan Penelitian Periode 2025–2026

Pada periode 2025–2026, hasil pemetaan menunjukkan semakin kuatnya hubungan antara frozen food, efisiensi operasi, manajemen rantai pasok, dan keberlanjutan. Kittichotsatsawat et al. [8] mengkaji peningkatan operasi manufaktur dalam rantai pasok produksi udang beku menggunakan Value Stream Mapping, line balancing, dan ECRS. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa perbaikan proses tidak hanya dilakukan melalui teknologi mesin, tetapi juga melalui pengaturan aliran kerja dan aktivitas. Saraswati [9] menerapkan Current State Value Stream Mapping, klasifikasi aktivitas produksi, dan identifikasi waste pada produksi udang beku. Studi tersebut memperlihatkan relevansi pendekatan lean manufacturing untuk mengurangi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan meningkatkan produktivitas.

Pada saat yang sama, arah keberlanjutan semakin kuat. Cooney et al.[14] menjelaskan bahwa hasil samping seafood dapat divalorisasi melalui kerangka ekonomi sirkular. limbah seafood berpotensi memberikan manfaat lingkungan dan ekonomi, tetapi konsumsi energi dan perbedaan teknologi perlu diperhatikan. Zhao et al. [23] membahas pemanfaatan limbah seafood sebagai bahan untuk kemasan pangan berkelanjutan. Kajian tersebut menunjukkan bahwa limbah dapat diarahkan menjadi material bernilai tambah, sehingga menghubungkan pengelolaan limbah dengan inovasi kemasan. Perkembangan menuju Industry 5.0 juga memberikan arah baru. Hassoun et al. [7] menjelaskan bahwa Food Industry 5.0 mendorong pendekatan yang lebih human-centric dengan penekanan pada keberlanjutan, ketahanan, dan kolaborasi manusia–teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan teknologi frozen food tidak hanya diarahkan pada otomatisasi, tetapi juga pada kemampuan sistem untuk mengintegrasikan manusia, teknologi, efisiensi, dan keberlanjutan.

Dengan demikian, periode 2025–2026 dapat disimpulkan sebagai fase penguatan efisiensi, keberlanjutan, dan integrasi sistem dalam pengembangan frozen food hasil laut. Penelitian pada periode ini tidak lagi hanya berfokus pada kualitas produk, tetapi mulai memperhatikan efisiensi proses, pengurangan waste, optimalisasi rantai pasok, pemanfaatan limbah, dan penerapan ekonomi sirkular. Penggunaan VSM, *line balancing*, dan ECRS menunjukkan bahwa peningkatan kinerja dapat dilakukan melalui perbaikan aliran kerja dan aktivitas produksi. Di sisi lain, pemanfaatan limbah seafood dan pengembangan kemasan berkelanjutan menunjukkan semakin kuatnya orientasi terhadap keberlanjutan. Perkembangan ini juga diperkuat oleh konsep Industry 5.0 yang mengintegrasikan manusia dan teknologi dengan memperhatikan keberlanjutan serta ketahanan sistem. Dengan demikian, arah pengembangan frozen food pada periode ini semakin mengarah pada sistem produksi yang efisien, minim waste, berkelanjutan, dan terintegrasi antara manusia, teknologi, serta rantai pasok.

4.4 Sintesis Perkembangan Penelitian

Berdasarkan matriks literatur yang digunakan dalam draft ini, sebanyak 15 studi dihimpun untuk sintesis tematik. Studi tersebut dikelompokkan berdasarkan periode dan fokus. Jumlah 15 studi merupakan kumpulan literatur yang sudah digunakan dalam penyusunan draft.

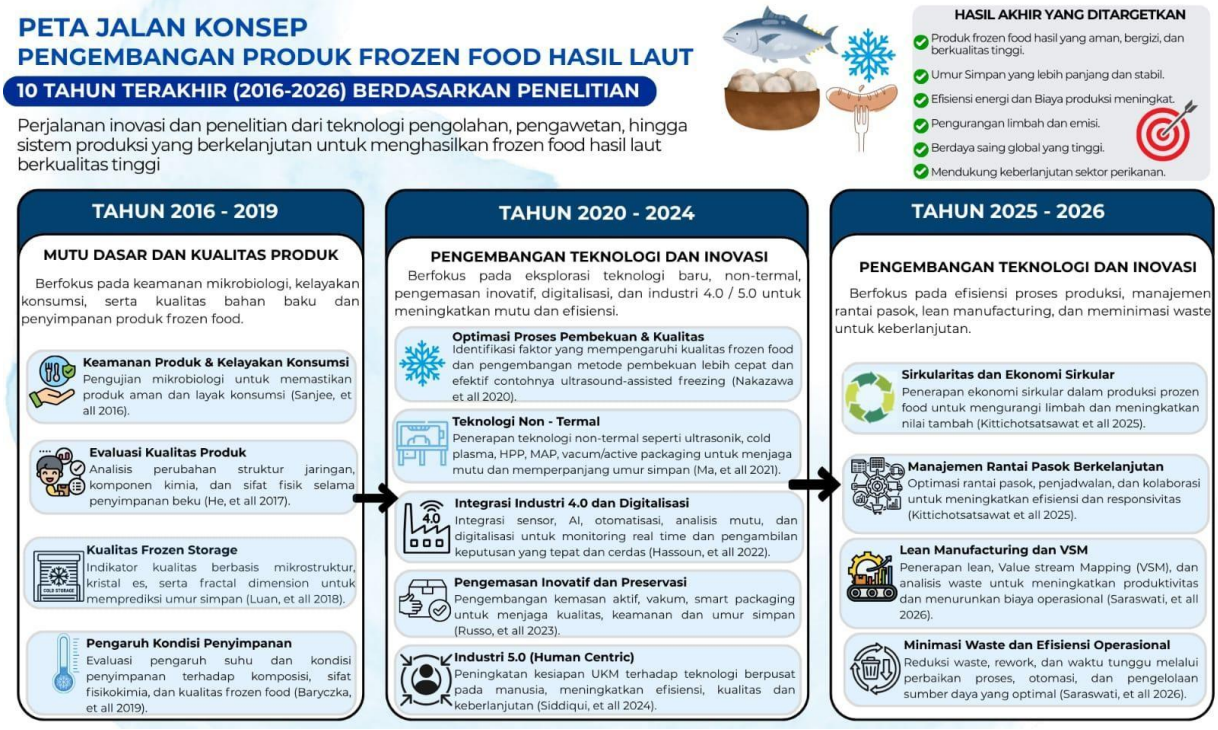
ISSN: 2830-0408

Tabel 2 Matriks Literatur

Periode	Fokus	Pendekatan/Teknologi	Arah Pengembangan
2016–2019	Mutu dasar dan kualitas	Keamanan mikrobiologis, frozen storage, evaluasi fisikokimia, mikrostruktur	Berorientasi pada pengendalian mutu dasar, keamanan pangan, stabilitas produk, dan peningkatan umur simpan.
2020–2024	Teknologi dan inovasi	Pembekuan lanjut, non-termal, smart packaging, AI, sensor, digitalisasi	Bergeser menuju penerapan teknologi yang lebih inovatif untuk meningkatkan kualitas, efisiensi, pemantauan produk, dan kemampuan pengendalian proses.
2025–2026	Efisiensi dan keberlanjutan	VSM, lean manufacturing, supply chain, circular economy, Industry 5.0	Berkembang menuju proses yang lebih efisien, minim waste, terintegrasi, berorientasi pada keberlanjutan, dan mampu mengoptimalkan sumber daya serta rantai pasok.

4.5 Peta Jalan Pengembangan Frozen Food Hasil Laut

Sintesis literatur menghasilkan peta jalan yang menggambarkan perpindahan fokus dari mutu dasar menuju teknologi, kemudian menuju efisiensi dan keberlanjutan. Peta jalan pada gambar 2 disusun berdasarkan tema penelitian yang ditemukan dalam literatur dan digunakan untuk memperlihatkan hubungan antarperiode.



Gambar 2 Peta Jalan Pengembangan Frozen Food Hasil Laut

Gambar 2 memperlihatkan bahwa perkembangan penelitian dapat dipahami sebagai proses integrasi. Pada fase pertama, pengendalian mutu menjadi dasar. Pada fase kedua, teknologi pembekuan, pengawetan, pengemasan, dan digitalisasi memperluas kemampuan sistem. Pada fase ketiga, teknologi tersebut mulai dihubungkan dengan efisiensi proses, rantai pasok, pengurangan waste, dan pemanfaatan sumber daya secara sirkular.

Arah pengembangan berikutnya dapat diarahkan pada integrasi antara cold-chain monitoring, smart packaging, analitik data, lean manufacturing, dan circular economy. Dengan pendekatan tersebut, kualitas produk tidak hanya dikendalikan pada akhir

ISSN: 2830-0408

proses, tetapi dipantau sepanjang rantai nilai. Pada saat yang sama, aktivitas produksi dapat dievaluasi berdasarkan waktu, energi, material, waste, dan peluang pemanfaatan kembali hasil samping.

Dari perspektif Teknik Industri, hasil pemetaan ini membuka ruang penelitian pada integrasi VSM dengan digital monitoring, optimasi rantai dingin, perancangan sistem produksi yang fleksibel, serta pengukuran kinerja keberlanjutan. Pendekatan tersebut dapat menjadi penghubung antara penelitian teknologi pangan dan perbaikan sistem produksi.

5. Kesimpulan

Hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa perkembangan frozen food hasil laut pada periode 2016–2026 mengalami perluasan fokus dari aspek produk menuju aspek proses dan sistem. Periode 2016–2019 didominasi penelitian mengenai keamanan, mutu dasar, karakteristik fisikokimia, mikrostruktur, dan stabilitas selama penyimpanan. Periode 2020–2024 berkembang menuju teknologi pembekuan dan pengawetan yang lebih inovatif, teknologi non-termal, pengemasan cerdas, serta digitalisasi dan Industry 4.0. Periode 2025–2026 menunjukkan peningkatan perhatian terhadap efisiensi proses, manajemen rantai pasok, lean manufacturing, Value Stream Mapping, pengurangan waste, ekonomi sirkular, dan pendekatan human-centric pada Industry 5.0.

Peta jalan yang dihasilkan menunjukkan bahwa pengembangan frozen food hasil laut bergerak menuju sistem yang semakin terintegrasi. Kualitas produk tetap menjadi dasar, tetapi pencapaiannya semakin didukung oleh teknologi pengolahan, digitalisasi, efisiensi operasi, manajemen rantai pasok, dan pemanfaatan sumber daya secara sirkular. Arah penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada integrasi teknologi monitoring dengan perbaikan proses, pengukuran kinerja keberlanjutan, optimasi cold chain, serta pemanfaatan hasil samping seafood menjadi produk bernilai tambah.

Pustaka

[1] N. Nakazawa and E. Okazaki, “Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood,” *Fish. Sci.*, vol. 86, no. 2, pp. 231–244, 2020, doi: 10.1007/s12562-020-01402-8.

[2] S. I. Ekonomou and I. S. Boziaris, “applied sciences Non-Thermal Methods for Ensuring the Microbiological Quality and Safety of Seafood,” 2021.

[3] S. Al Sanjee and E. Karim, “Microbiological Quality Assessment of Frozen Fish and Fish Processing Materials from Bangladesh,” vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/8605689.

[4] Q. He, Z. Yang, B. Gong, J. Wang, K. Xiao, and S. Yang, “Quality Evaluation Focusing on Tissue Fractal Dimension and Chemical Changes for Frozen Tilapia with Treatment by Tangerine Peel Extract,” no. September 2016, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1038/srep42202.

[5] L. Luan, Y. Sun, S. Chen, C. Wu, and Y. Hu, “A study of fractal dimension as a quality indicator of hairtail (Trichiurus haumela) samples during frozen storage,” *Sci. Rep.*, no. December 2017, pp. 1–8, 2018, doi: 10.1038/s41598-018-33880-3.

[6] M. J. Baryczka, I. Chwastowska-siwiecka, and J. Kondratowicz, “Evaluation of the quality of chilled and frozen African catfish (Clarias gariepinus Burchell , 1822) fillets,” *Czech J. Food Sci.*, vol. 37, no. 3, pp. 186–191, 2019, doi: 10.17221/330/2018-CJFS.

[7] A. Hassoun, S. Jagtap, H. Trollman, G. Garcia-garcia, and L. N. K. Duong, “From Food Industry 4 . 0 to Food Industry 5 . 0 : Identifying technological enablers and potential future applications in the food sector,” no. September 2024, pp. 1–37, 2025, doi: 10.1111/1541-4337.70040.

[8] Y. Kittichotsatsawat, W. Wattanutchariya, and A. Jongjareonrak, “Enhancing Manufacturing Operations Within the Supply Chain for Sustainable Frozen Shrimp Production,” 2025.

[9] F. A. S. Ni Nyoman Ayu Saraswati, “JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Penerapan Lean Manufacturing untuk Meminimasi Waste pada Produksi Udang Beku,” vol. 9, no. 1, pp. 29–36, 2026.

[10] X. Ma, D. Yang, W. Qiu, J. Mei, and J. Xie, “Influence of Multifrequency Ultrasound-Assisted

ISSN: 2830-0408

Freezing on the Flavour Attributes and Myofibrillar Protein Characteristics of Cultured Large Yellow Croaker (Larimichthys crocea)," vol. 8, no. December, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3389/fnut.2021.779546.

[11] M. Tan, J. Mei, and J. Xie, "The Formation and Control of Ice Crystal and Its Impact on the Quality of Frozen Aquatic Products : A Review," pp. 1–17, 2021.

[12] W. L. ZHOU Junpeng1, 2, ZHU Meng1, 2, ZHANG Wei1, 2, "食品科学 2019," vol. 40, no. 17, pp. 0–3, 2019, doi: 10.7506/spkx1002-6630-20180913-137.http.

[13] G. L. Russo, P. Masi, A. L. Langellotti, and E. Torrieri, "Emerging technologies in seafood processing : An overview of innovations reshaping the aquatic food industry," no. September 2023, pp. 1–30, 2024, doi: 10.1111/1541-4337.13281.

[14] S. Mellett *et al.*, "A circular economy framework for seafood waste valorisation to meet challenges and opportunities for intensive production and sustainability," vol. 392, no. May 2022, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136283.

[15] U. Erikson, S. Uglem, and K. Greiff, "Freeze-Chilling of Whitefish: Effects of Capture, On-Board Processing, Freezing, Frozen Storage, Thawing, and Subsequent Chilled Storage—A Review," 2021.

[16] T. Sireesha, N. A. N. Gowda, and V. Kambhampati, "Ultrasonication in seafood processing and preservation : a comprehensive review," *Appl. Food Res.*, vol. 2, no. 2, p. 100208, 2022, doi: 10.1016/j.afres.2022.100208.

[17] B. B. Dağtekİn, "Surimi Technology and New Techniques Used For Surimi-Based Products," vol. 2, no. 1, 2022.

[18] N. B. Rathod, P. Kulawik, and Y. Ozogul, "Review Recent developments in non-thermal processing for seafood and seafood products : cold plasma , pulsed electric field and high hydrostatic pressure," pp. 774–790, 2022, doi: 10.1111/ijfs.15392.

[19] A. S. Shahida Anusha Siddiqui , Shubhra Singh , Nur Alim Bahmid and A, "Heliyon Applying innovative technological interventions in the preservation and packaging of fresh seafood products to minimize spoilage - A systematic review and meta-analysis," *Heliyon*, vol. 10, no. 8, p. e29066, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29066.

[20] E. Henrichs *et al.*, "Can a Byte Improve Our Bite ? An Analysis of Digital Twins in the Food Industry," 2022.

[21] A. K. A. Sridhar, M. Ponnuchamy, P. Senthil Kumar, "Sustainable Food Technology," no. 803, pp. 777–782, 2023.

[22] M. Madhavan and M. A. Sharafuddin, "Measuring the Industry 5 . 0-Readiness Level of SMEs Using Industry 1 . 0 – 5 . 0 Practices : The Case of the Seafood Processing Industry," pp. 1–19, 2024.

[23] Zezhong Zhao , Yajuan Li , Zhiyang Du "Seafood Waste-Based Materials for Sustainable Food Packing : From Waste to Wealth," pp. 1–14, 2022.