# Pengaruh *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Ikan Filet: Systematic Literature Review

***Effects of Air Blast Freezing (ABF) on Fish Fillet Quality: A Systematic Literature Review***

Tazkia Khairana Fakhriza*, Afifah Fauziah, Esti Amelia, Pitri Nopi Yanti, Dewi Nur Azizah
Program Studi Pendidikan Teknologi Agroindustri, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung
*Korespondensi dengan penulis (tazkiafakhriza@upi.edu)

Artikel ini dikirim pada tanggal 20 Juni 2026 dan dinyatakan diterima tanggal 21 September 2026. Artikel ini juga dipublikasi secara online melalui https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/tekpangan. eISSN 2597-9892. Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang diperbanyak untuk tujuan komersial.

**Abstrak**

Ikan merupakan komoditas yang mudah mengalami penurunan mutu sehingga memerlukan teknologi pengawetan yang efektif untuk mempertahankan kualitasnya selama penyimpanan dan distribusi. *Air Blast Freezing* (ABF) merupakan salah satu metode pembekuan yang banyak digunakan dalam industri perikanan karena mampu memperpanjang umur simpan produk melalui penghambatan aktivitas mikroorganisme, enzim, dan reaksi kimia. Namun, informasi mengenai pengaruh ABF terhadap berbagai parameter mutu filet ikan masih tersebar dalam berbagai publikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis pengaruh *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap mutu filet ikan berdasarkan parameter fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensori. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengacu pada pedoman PRISMA 2020. Pencarian literatur dilakukan pada basis data Google Scholar, ScienceDirect, dan Springer dengan rentang publikasi tahun 2016–2026. Artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis menggunakan pendekatan *thematic synthesis*. Hasil kajian menunjukkan bahwa ABF mampu mempertahankan mutu filet ikan, namun efektivitasnya dipengaruhi oleh suhu pembekuan, laju pembekuan, dan lama penyimpanan. Pada aspek fisik, ABF berpengaruh terhadap *drip loss*, tekstur, warna, *Water Holding Capacity* (WHC), dan mikrostruktur jaringan. Pembekuan pada suhu yang lebih rendah dan laju pembekuan yang lebih cepat cenderung menghasilkan kristal es yang lebih kecil sehingga mampu mengurangi kerusakan jaringan dan mempertahankan mutu produk. Pada aspek kimia, ABF dapat memengaruhi pH dan memperlambat denaturasi protein, meskipun kualitas tetap menurun selama penyimpanan jangka panjang. Selain itu, ABF juga mampu menjaga mutu mikrobiologi dan sensori filet ikan pada tingkat yang masih dapat diterima. Secara keseluruhan, ABF merupakan teknologi pembekuan yang efektif untuk preservasi filet ikan dan berpotensi mempertahankan kualitas produk selama penyimpanan beku.

Kata kunci: *air blast freezing*, ABF, mutu ikan, ikan filet, preservasi.

***Abstract***

*Fish is a highly perishable commodity that requires effective preservation technologies to maintain its quality during storage and distribution. Air Blast Freezing (ABF) is one of the most widely applied freezing methods in the seafood industry due to its ability to extend product shelf life by inhibiting microbial activity, enzymatic reactions, and chemical deterioration. However, information regarding the effects of ABF on the quality attributes of fish fillets remains scattered across numerous publications. Therefore, this study aimed to systematically review the effects of Air Blast Freezing on fish fillet quality based on physical, chemical, microbiological, and sensory parameters. A Systematic Literature Review (SLR) approach was employed following the PRISMA 2020 guidelines. Literature searches were conducted in Google Scholar, ScienceDirect, and Springer databases, covering publications from 2016 to 2026. Eligible articles were analyzed using a thematic synthesis approach. The review findings indicate that ABF is effective in preserving fish fillet quality, although its effectiveness is influenced by freezing temperature, freezing rate, and storage duration. In terms of physical quality, ABF affects drip loss, texture, color, Water Holding Capacity (WHC), and tissue microstructure. Lower freezing temperatures and faster freezing rates tend to produce smaller ice crystals, thereby minimizing tissue damage and maintaining product quality. Regarding chemical quality, ABF can influence pH and slow protein denaturation, although quality deterioration still occurs during prolonged frozen storage. Furthermore, ABF contributes to maintaining the microbiological and sensory quality of fish fillets at acceptable levels throughout storage. Overall, ABF represents an effective freezing technology for fish fillet preservation and has considerable potential to maintain product quality during frozen storage.*

*Keywords : air blast freezing, ABF, fish fillet, fish quality, preservation.*

## Pendahuluan

Ikan merupakan komoditas bahan pangan yang sangat populer, produksi maupun konsumsinya sedang meningkat secara global (Ravishankar dan Mohan, 2023). Ikan tergolong sebagai komoditas yang sangat mudah rusak (*highly perishable food*). Setelah ikan mati, mekanisme pertahanan alaminya terhenti sehingga berbagai proses deteriorasi mulai berlangsung, terutama aktivitas enzimatis dan mikrobiologis serta oksidasi lipid, yang secara bersama-sama berkontribusi terhadap penurunan mutu ikan (Rasul *et al*., 2022). Menurut Liviawaty dan Affrianto (2014, dalam Masengi *et al*., 2021) secara fisiologis, ikan mengalami fase pre-rigor, rigor mortis, dan post-rigor yang memengaruhi karakteristik otot serta kualitas ikan sebelum proses pengolahan. Penanganan ikan, terutama ikan laut perlu dilakukan secara cepat dan tepat karena fluktuasi suhu selama penyimpanan dan distribusi dapat mempercepat denaturasi protein, meningkatkan aktivitas mikroba, serta menyebabkan penurunan mutu yang

berdampak pada kehilangan hasil dan kerugian ekonomi (FAO, 2025). Karena itulah diperlukan metode penanganan dan pengawetan yang mampu mempertahankan mutu ikan sejak pascapanen hingga distribusi.

Untuk menghambat laju kemunduran mutu tersebut, pembekuan (*freezing*) menjadi intervensi pascapanen yang paling krusial. Pembekuan merupakan salah satu metode pengawetan atau preservasi yang paling banyak diterapkan dalam industri perikanan karena mampu mempertahankan karakteristik mutu produk mendekati kondisi segarnya melalui penurunan suhu hingga di bawah titik awal pembekuan (Regalado *et al*., 2024). Prinsip dasar pembekuan adalah menurunkan suhu produk hingga di bawah titik beku sehingga sebagian besar air bebas dalam jaringan berubah menjadi kristal es (Badarudin, 2025). Pada kondisi suhu rendah tersebut, aktivitas enzim, pertumbuhan mikroorganisme, dan laju reaksi kimia, termasuk oksidasi lipid, dapat dihambat secara signifikan sehingga umur simpan produk menjadi lebih panjang (Tan *et al*., 2021).

Dalam pembekuan, ukuran dan lokasi dari kristal es dianggap sebagai salah satu faktor penting yang dapat memengaruhi kualitas keseluruhan ikan beku. Pertumbuhan kristal es ini sangat ditentukan oleh laju pembekuan (*freezing rate*), di mana pada laju pembekuan yang lebih cepat dapat menghasilkan kristal es yang lebih kecil dan tersebar secara merata di dalam dan di luar sel otot (Lv *et al.*, 2021). Ukuran dan lokasi dari kristal es menjadi penting dikarenakan faktor-faktor tersebut dapat mengakibatkan perubahan fisiko-kimia pada tekstur, warna, dan mikrostruktur yang secara langsung memengaruhi kualitas mutu dari ikan (Regalado *et al*., 2024). Penelitian Chan *et al.* (2022) juga mengatakan bahwa kristal es yang terbentuk oleh laju pembekuan yang lebih cepat dapat mengurangi *drip loss* dari ikan. Namun, keunggulan ini dapat berkurang selama penyimpanan pada suhu sangat dingin karena kristal-kristal kecil tersebut dapat bersatu membentuk kristal besar. Akibatnya, membran sel pecah dan komponen sel terganggu, yang berakibat negatif terhadap tekstur, *drip loss*, dan *Water Holding Capacity* (WHC).

*Air Blast Freezing* (ABF) sebagai salah satu teknologi pembekuan yang banyak diterapkan dalam industri pengolahan hasil perikanan, merupakan sebuah proses dari pengondisian produk pada suhu tertentu lalu kemudian dilakukan pembekuan secara cepat hingga mencapai suhu penyimpanan yang diinginkan, yang bervariasi tergantung pada jenis produknya (Dempsey dan Bansal, 2012). ABF termasuk dalam teknik pembekuan cepat (*rapid freezing*) yang memiliki laju perpindahan panas tinggi sehingga mampu menghasilkan kristal es yang lebih kecil dan kerusakan jaringan yang lebih rendah pada sel agar mutu produk tetap terjaga setelah pencairan (Sayuti *et al*., 2024).

Mutu filet ikan beku umumnya dievaluasi melalui parameter fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensori karena perubahan pada parameter tersebut dapat mencerminkan perubahan struktur dan komponen jaringan selama pembekuan, penyimpanan beku, dan pencairan serta menentukan penerimaan konsumen terhadap produk (Duarte *et al.*, 2020). Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa karakteristik proses pembekuan, terutama laju pembekuan, berperan dalam menentukan pembentukan dan perkembangan kristal es di dalam jaringan ikan (Tan *et al.*, 2021). Perubahan kristal es tersebut selanjutnya dapat memengaruhi struktur jaringan dan karakteristik mutu produk selama penyimpanan dan setelah pencairan.

Namun, bukti mengenai pengaruh ABF terhadap atribut mutu filet ikan masih menunjukkan variasi antarpenelitian dan belum memberikan gambaran yang terintegrasi mengenai hubungan antara kondisi proses ABF, pembentukan kristal es, perubahan mikrostruktur, serta respons *drip loss, Water-Holding Capacity* (WHC), dan tekstur. Variasi tersebut dapat berkaitan dengan perbedaan spesies ikan, kondisi operasi pembekuan, serta kondisi penyimpanan yang digunakan dalam masing-masing penelitian. Oleh karena itu, masih diperlukan sintesis yang secara sistematis mengintegrasikan bukti mengenai pengaruh ABF terhadap berbagai atribut mutu filet ikan serta menjelaskan keterkaitan antara karakteristik proses pembekuan dan perubahan mutu yang dihasilkan. Berdasarkan kesenjangan tersebut, artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis pengaruh teknologi *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap karakteristik mutu filet ikan berdasarkan parameter fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensori.

## Metode

### Sistematika PRISMA

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. Metode ini digunakan untuk memastikan proses pencarian, seleksi, dan sintesis data dilakukan secara sistematis dan transparan (Page *et al.,* 2021) protokol penelitian ini telah didaftarkan di *Open Science Framework* (OSF). Semua langkah mengikuti *checklist* PRISMA untuk memastikan keakuratan artikel.

### Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan secara komprehensif di basis data Google Scholar, ScienceDirect, dan Springer. Kata kunci yang digunakan merupakan kombinasi istilah yang berkaitan dengan metode pembekuan, objek penelitian, dan mutu produk. *Search string* yang digunakan adalah ("air blast freezing" OR "blast freezing" OR "forced air freezing") AND ("fish fillet" OR "ikan filet") AND ("quality" OR "quality attributes" OR "mutu"). Jenis ikan filet tidak dibatasi guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif dan representatif mengenai mutu fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensori ikan filet. Fokus utama adalah studi yang menyediakan bukti eksperimental mengenai pembekuan dengan *Air Blast Freezing* (ABF) dan mutu ikan filet.

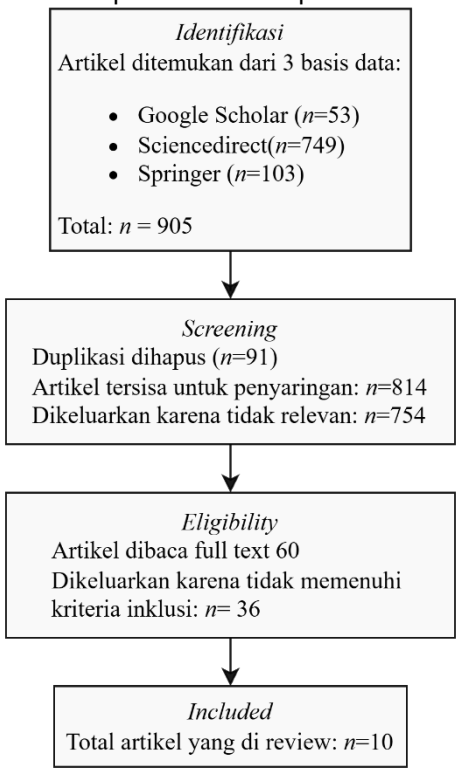
### Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi yang digunakan meliputi artikel penelitian asli (*original research article*) yang membahas penerapan *Air Blast Freezing* pada filet ikan, yang diterbitkan dalam jurnal ilmiah terindeks Google Scholar,

ScienceDirect, dan Springer, yang terbit tahun 2016-2026. Artikel harus tersedia dalam bentuk *full-text* dan memiliki kesesuaian dengan tujuan penelitian. Studi yang mengevaluasi variabel mutu fisik, kimia, mikrobiologi, atau sensori dengan metode kuantitatif eksperimental dan kontrol yang jelas. Sementara itu, kriteria artikel yang ditolak (Eksklusi) adalah artikel ulasan (*literature review*), penelitian yang sama sekali tidak melibatkan atau tidak menguji metode pembekuan dengan metode ABF, dan penelitian yang tidak mencantumkan parameter mutu fisik, kimia, mikrobiologi, atau sensori.

Penilaian Kualitas

Tahapan seleksi dilakukan secara sistematis seperti tercantum pada Gambar 1.




Gambar 1. Diagram PRISMA

Pada tahap identifikasi, diperoleh sebanyak 905 artikel dari tiga basis data, yaitu Google Scholar (n = 53), ScienceDirect (n = 749), dan Springer (n = 103). Setelah proses penghapusan artikel duplikat sebanyak 91 artikel, tersisa 814 artikel yang kemudian diseleksi berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Dari hasil proses penyaringan tersebut, sebanyak 754 artikel dikeluarkan karena tidak relevan dengan topik dan kriteria penelitian. Selanjutnya, 60 artikel *full-text* dievaluasi lebih lanjut untuk menilai kelayakannya. Berdasarkan hasil evaluasi, diperoleh 10 artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi dan selanjutnya digunakan dalam proses *review*.

**Pengolahan dan Analisis Data**

Data yang diperoleh dari artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis menggunakan pendekatan sintesis tematik (*thematic synthesis*) untuk mengidentifikasi pola dan kecenderungan pengaruh *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap mutu filet ikan. Proses analisis dilakukan dengan mengelompokkan temuan penelitian ke dalam empat kategori utama, yaitu: (1) mutu fisik yang meliputi *Drip Loss, Texture Profile Analysis* (TPA), warna instrumental, *Water Holding Capacity* (WHC), serta mikrostruktur; (2) mutu kimia yang meliputi pH, protein miofibril, oksidasi dan denaturasi protein, serta asam amino bebas; (3) mutu mikrobiologi yang meliputi *Total Plate Count* (TPC); dan (4) mutu sensori yang meliputi penilaian organoleptik. Hasil sintesis kemudian digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara karakteristik pembekuan menggunakan ABF dengan perubahan mutu filet ikan.

**Hasil dan Pembahasan**

Identifikasi Hasil Pencarian

Dari hasil pencarian, kriteria inklusi dan eksklusi serta penilaian kualitas diperoleh artikel jurnal yang sesuai dengan topik, yaitu diterbitkan dalam jurnal terindeks Google Scholar, ScienceDirect, dan Springer, yang terbit tahun 2016–2026. Data artikel tersebut disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Daftar Artikel yang di-*Review*

| Penulis | Tahun | Jenis Ikan | Metode Pembekuan | Parameter Mutu |
|---|---|---|---|---|
| Kwon *et al.* | 2025 | Flounder | *Air Blast Freezing* (ABF) dan *Slurry Ice Freezing* (SIF) | *Drip Loss*, TPA, Warna Instrumental, Mikrostruktur, pH, Protein Miofibril |
| Regalado *et al.* | 2024 | Nila | *Air Blast Freezing* (ABF),*Cryogenic Freezing* (CF)*, Combined Method,* dan *Static Air* (SA) | Warna Instrumental, pH |
| Bao | 2023 | *Large-mouth Bass* | *Air Blast Freezing* (ABF) | WHC, Oksidasi dan Denaturasi Protein |
| Sirait *et al.* | 2022 | Kerapu | *Air Blast Freezing* (ABF) | TPC, Organoleptik |
| Cartangena *et al.* | 2021 | Albakora | *Air Blast Freezing* (ABF) | *Drip Loss*, TPA, Warna Instrumental, Protein Miofibril |
| Okuda *et al.* | 2020 | Makarel | *Air Blast Freezing* (ABF), *Home Freezing,* dan *Air Blast Freezing-Cell Alive System* (ABF-CAS) | *Drip Loss* |
| Shrestha dan Bokkhim | 2020 | Patin Siam | *Air Blast Freezing* (ABF) | TPA, TPC, Organoleptik |
| Xu *et al.* | 2018 | Lele | *Air Blast Freezing* (ABF) dan *Immersion Freezing* | *Drip Loss,* Mikrostruktur, Asam Amino Bebas |
| Choiriyah *et al.* | 2017 | Swangi dan Kurisi | *Air Blast Freezing* (ABF) | TPC, Organoleptik |
| Erikson *et al.* | 2016 | Cod | *Air Blast Freezing* (ABF), *Cell Alive System* (CAS), dan *Cold Storage Freezing* (CSF) | *Drip Loss*, *Hardness*, WHC, Mikrostruktur, pH |

*Air Blast Freezing* (ABF) sebagai metode Preservasi Ikan Filet

Keefektifan *Air Blast Freezing* (ABF) dalam proses pembekuan sangat dipengaruhi oleh laju pembekuan, karena laju pembekuan berkaitan dengan proses pembentukan dan pertumbuhan kristal es dalam jaringan produk (Cartangena *et al*., 2021). Selain itu, karakteristik produk dan kondisi proses, seperti ketebalan produk dan suhu pembekuan, turut memengaruhi proses pembentukan serta pertumbuhan kristal es (Tan *et al.*, 2021). Pada pengolahan filet ikan kerapu, Sirait *et al.* (2022) melaporkan bahwa pembekuan menggunakan ABF berlangsung selama sekitar 4 jam dengan suhu ruang pembekuan sekitar −40°C hingga suhu pusat produk mencapai sekitar −18 °C. Kondisi tersebut merupakan kondisi pembekuan yang dilaporkan pada proses pengolahan filet kerapu dan tidak menunjukkan lama pembekuan berdasarkan variasi ketebalan filet maupun kapasitas mesin.

Kemampuan ABF dalam mempercepat pembekuan dibandingkan *static air* ditunjukkan oleh waktu pembekuan yang lebih singkat. Regalado *et al.* (2024) melaporkan bahwa filet nila yang dibekukan menggunakan ABF pada suhu −25 ± 2°C dengan kecepatan udara hingga 2,72 m/s membutuhkan waktu 146 menit, sedangkan *Static Air* (SA) pada suhu −18 ± 2°C membutuhkan 268 menit. Perbedaan kondisi tersebut menunjukkan bahwa suhu dan sirkulasi udara selama pembekuan dapat memengaruhi waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi beku. Pada penelitian yang sama, *Cryogenic Freezing* (CF) menggunakan nitrogen cair menghasilkan waktu pembekuan yang jauh lebih singkat, yaitu 5,32 menit (Regalado *et al.,* 2024). Kondisi pembekuan tersebut berkaitan dengan laju pembentukan kristal es yang selanjutnya dapat memengaruhi karakteristik mutu filet. Xu *et al*. (2018) menunjukkan bahwa metode pembekuan berpengaruh terhadap *drip loss*, mikrostruktur, dan karakteristik asam amino bebas filet ikan lele. Tan *et al.* (2021) juga menjelaskan bahwa pengendalian pembentukan dan pertumbuhan kristal es merupakan faktor penting dalam mempertahankan kualitas produk perairan beku. Oleh karena itu, efektivitas ABF dalam pengolahan ikan perlu dilihat tidak hanya berdasarkan waktu pembekuan, tetapi juga berdasarkan kondisi proses dan pengaruhnya terhadap karakteristik mutu produk. Dengan demikian, ABF merupakan salah satu metode pembekuan yang dapat diterapkan dalam pengolahan produk perikanan secara komersial.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Fisik *Drip Loss* Ikan Filet

*Drip loss* merupakan parameter mutu fisik yang menunjukkan jumlah cairan yang keluar dari filet selama proses *thawin*g. Nilai *drip loss* yang tinggi umumnya berkaitan dengan kerusakan struktur jaringan dan penurunan kemampuan jaringan dalam menahan air akibat pembentukan serta perubahan kristal es selama pembekuan dan penyimpanan (Leygonie *et al.,* 2020). Kondisi tersebut dapat menurunkan rendemen dan mutu tekstur filet (Kwon *et al.*, 2025).

Xu *et al.* (2018) melaporkan bahwa *drip loss* filet lele yang dibekukan menggunakan ABF pada −35 °C dan kecepatan udara 5 m/s meningkat dari sekitar 4% pada minggu ke-12 menjadi 8% pada minggu ke-16 penyimpanan. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kerusakan jaringan dapat terus berlangsung selama penyimpanan beku, antara lain akibat rekristalisasi es. Hasil ini menunjukkan bahwa *drip loss* dapat meningkat selama penyimpanan beku meskipun filet dibekukan menggunakan ABF.

Hasil berbeda dilaporkan Erikson *et al*. (2016), yang memperoleh *drip loss* sebesar 5,7% pada filet cod yang dibekukan menggunakan ABF, relatif sebanding dengan *Cell Alive System* (CAS). Sebaliknya, Okuda *et al*. (2020) menunjukkan bahwa penambahan *Oscillating Magnetic Fields* (OMF) pada sistem ABF-CAS dapat menurunkan kerusakan jaringan ikan makarel secara signifikan dibandingkan ABF konvensional. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa hasil pembekuan—terutama *drip loss*—tidak hanya ditentukan oleh penggunaan ABF, tetapi juga oleh konfigurasi teknologi yang diterapkan. Erikson *et al*. (2016) membandingkan ABF dan CAS sebagai metode terpisah, sedangkan Okuda *et al.* (2020) menguji penambahan OMF pada sistem ABF-CAS. Selain konfigurasi teknologi, perbedaan spesies ikan dan karakteristik jaringan ikan juga dapat berkontribusi terhadap perbedaan respons *drip loss.*

Perbedaan hasil juga terlihat pada modifikasi kondisi pembekuan. Cartagena *et al.* (2021) melaporkan bahwa penurunan suhu pembekuan dari −20 menjadi −50 °C menurunkan *drip loss*, sedangkan perlakuan pendahuluan *High Pressure Processing* (HPP) 200 MPa sebelum ABF memberikan penurunan yang lebih besar dibandingkan ABF tanpa HPP. Temuan tersebut menunjukkan bahwa *drip loss* dipengaruhi oleh lebih dari satu faktor, yaitu laju pembekuan dan kondisi jaringan sebelum pembekuan. Hasil Kwon *et al*. (2025) yang menunjukkan *drip loss* ABF lebih tinggi dibandingkan *Slurry Ice Freezing* (SIF) juga mendukung pentingnya laju pembekuan, karena SIF memungkinkan perpindahan panas yang lebih cepat melalui kontak langsung dengan media pendingin.

Dengan demikian, perbedaan *drip loss* antarpenelitian tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan penggunaan ABF. Variasi suhu dan kecepatan pembekuan, kondisi penyimpanan, perlakuan pendahuluan, konfigurasi teknologi, serta karakteristik spesies dan jaringan ikan dapat menghasilkan respons yang berbeda. Oleh karena itu, efektivitas ABF terhadap *drip loss* perlu dinilai berdasarkan kondisi proses secara menyeluruh, bukan hanya melalui perbandingan nilai akhir antar metode.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Fisik *Texture Profile Analysis* (TPA) Ikan Filet

*Texture Profile Analysis* (TPA) merupakan metode untuk mengevaluasi karakteristik tekstur produk perikanan, antara lain *hardness, springiness, cohesiveness*, dan *chewiness*. Perubahan parameter tersebut mencerminkan perubahan struktur jaringan ikan selama pembekuan dan penyimpanan beku yang dipengaruhi oleh pembentukan kristal es, perubahan protein, dan perpindahan air. Cartagena *et al.* (2021) menunjukkan bahwa kondisi pembekuan ABF memengaruhi *hardness* filet albakora, sedangkan *springiness* tidak berbeda nyata. Pembekuan pada −50 °C menghasilkan *hardness* yang lebih tinggi dan lebih mendekati filet segar dibandingkan pembekuan pada −20 °C. Namun, pengaruh HPP terhadap tekstur lebih besar daripada variasi suhu dan kecepatan udara, menunjukkan bahwa kondisi pembekuan bukan satu-satunya faktor yang menentukan perubahan tekstur (Cartagena *et al.*, 2021).

Hasil tersebut sejalan dengan Regalado *et al.* (2024), yang menunjukkan bahwa sampel filet nila pada perlakuan ABF mengalami perubahan TPA yang lebih kecil selama penyimpanan dibandingkan CF dan SA. Stabilitas tekstur pada ABF dikaitkan dengan kemampuan pembekuan yang lebih baik dalam mempertahankan struktur jaringan, sedangkan perubahan pada CF dan SA dikaitkan dengan aktivitas enzimatis. Pada SA, laju pembekuan yang lebih lambat memungkinkan terbentuknya kristal es yang lebih besar, sedangkan pada CF dapat terbentuk retakan pada jaringan yang mempermudah pelepasan enzim dan degradasi protein (Regalado *et al.*, 2024). Perbedaan ini menunjukkan bahwa kestabilan TPA pada ABF tidak hanya ditentukan oleh penggunaan metode ABF, tetapi juga oleh kondisi pembekuan yang memengaruhi kerusakan mikrostruktur.

Sementara itu, Shrestha dan Bokkhim (2020) melaporkan perubahan *hardness* filet pangasius selama penyimpanan beku, dengan pola yang berbeda antarbagian tubuh ikan. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik jaringan ikan dan lokasi pengambilan sampel turut memengaruhi respons tekstur selama penyimpanan. Hasil Kwon *et al.* (2025) juga menunjukkan bahwa filet yang dibekukan menggunakan ABF memiliki *breaking strength* lebih rendah dibandingkan SIF setelah penyimpanan 60 hari, yang berkaitan dengan pembentukan kristal es lebih tinggi pada ABF dan waktu yang lebih lama pada zona pembentukan kristal es maksimum. Dengan demikian, perbedaan hasil antarpenelitian dapat disebabkan oleh kombinasi kondisi pembekuan, lama penyimpanan, karakteristik spesies dan jaringan, serta parameter tekstur yang digunakan. Secara umum, ABF mampu mempertahankan tekstur filet, tetapi efektivitasnya sangat bergantung pada kondisi operasional dan karakteristik bahan yang dibekukan.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Fisik Warna Instrumental Ikan Filet

Warna merupakan salah satu parameter mutu fisik yang penting karena memengaruhi penerimaan konsumen terhadap produk ikan filet. Oleh karena itu, pengukuran warna secara instrumental dengan parameter L* (kecerahan), a* (kemerahan), dan b* (kekuningan) sering digunakan untuk menilai kemampuan suatu metode pembekuan dalam mempertahankan mutu visual produk. Regalado *et al.* (2024) melaporkan bahwa filet tilapia yang dibekukan dengan ABF pada suhu −25°C dan kecepatan udara 1,25 m/s memiliki nilai L* sebesar 53,42, a* sebesar 0,05, dan b* sebesar 9,54. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ABF mampu menghasilkan filet dengan kecerahan yang cukup baik dan perubahan warna yang relatif minimal dibandingkan SIF.

Sejalan dengan itu, Cartagena *et al.* (2021) melaporkan bahwa filet tuna albakora yang dibekukan pada empat kondisi ABF berbeda menunjukkan nilai L* berkisar antara 42–53, a* antara 3,5–5, dan b* antara 2,5–7, tergantung pada suhu pembekuan dan lama penyimpanan. Kondisi ABF pada suhu yang lebih rendah, yaitu −50°C, cenderung menghasilkan nilai L* yang lebih stabil selama penyimpanan dibandingkan ABF pada −20°C, yang mengindikasikan bahwa laju pembekuan yang lebih cepat dapat membantu mempertahankan kecerahan warna filet. Namun, Kwon *et al.* (2025) melaporkan bahwa filet flounder yang dibekukan menggunakan ABF mengalami perubahan warna yang

lebih besar dibandingkan dengan SIF selama penyimpanan. Perbedaan ini dikaitkan dengan laju pembekuan yang lebih lambat pada ABF serta tingkat oksidasi lipid yang lebih tinggi selama proses pembekuan.

Secara umum, perubahan warna filet ikan selama pembekuan dengan ABF dipengaruhi oleh ukuran kristal es yang terbentuk, kerusakan jaringan, dan hamburan cahaya pada permukaan filet. Meskipun variasi suhu pembekuan dan kecepatan udara pada ABF dapat memengaruhi kestabilan warna, hasil penelitian Cartagena *et al.* (2021) menunjukkan bahwa faktor seperti oksidasi lipid dan lama penyimpanan beku cenderung lebih dominan dalam menentukan perubahan warna jangka panjang. Dengan demikian, ABF tetap menunjukkan kemampuan yang baik dalam mempertahankan warna filet ikan, meskipun stabilitasnya masih dipengaruhi oleh kondisi proses dan durasi penyimpanan.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Fisik *Water Holding Capacity* (WHC) Ikan Filet

*Water Holding Capacity* (WHC) merupakan kemampuan jaringan otot ikan untuk mempertahankan air selama proses pembekuan, penyimpanan, dan pencairan. Pada filet ikan yang dibekukan menggunakan metode ABF, nilai WHC cenderung menurun akibat terbentuknya kristal es yang dapat merusak struktur serat otot sehingga air lebih mudah keluar saat proses *thawing.* Semakin besar kerusakan mikrostruktur jaringan akibat pembekuan, semakin rendah pula kemampuan filet dalam mengikat air (Lv *et al.*, 2021).

Erikson *et al.* (2016) melaporkan bahwa filet Cod Atlantik yang dibekukan menggunakan ABF (suhu −35°C dan kecepatan udara 5 m/s) memiliki nilai WHC sebesar 78,7±1,7% segera setelah *thawing*, nilai ini tidak berbeda nyata dibandingkan CAS (80,8±1,2%) maupun CSF (81,2±1,2%). Setelah tambahan 6 hari penyimpanan es, WHC ketiga metode turun cukup tajam, ABF menjadi 70,0±1,2%, CAS 72,1±1,7%, dan CSF 70,1±2,4%. Namun tidak ada perbedaan signifikan antarmetode pembekuan pada kedua titik waktu ($p>0,05$). Penurunan WHC sekitar 8-11 poin persentase akibat penyimpanan es jauh lebih besar dibandingkan selisih antarmetode pembekuan yang hanya berkisar 1-3 poin persentase, menegaskan bahwa pada penelitian ini kondisi pascapembekuan memberikan dampak yang jauh lebih dominan terhadap WHC dibandingkan pilihan metode pembekuan itu sendiri.

Kondisi tersebut selaras dengan temuan Bao *et al.* (2023) pada filet *large-mouth bass*, yang secara khusus memisahkan pengaruh laju pembekuan awal (dibekukan pada −18°C dengan −60°C, dengan/tanpa sirkulasi udara paksa 2 m/s) dari pengaruh suhu penyimpanan beku (−18°C, −40°C, atau −60°C) terhadap *drip loss* sebagai indikator WHC. Hasil analisis dua arah (*two-way* ANOVA) menunjukkan bahwa hanya lama penyimpanan yang berpengaruh signifikan terhadap *drip loss* ($p<0,001$), sedangkan laju pembekuan maupun suhu penyimpanan tidak berpengaruh signifikan. Secara kuantitatif, *drip loss* pada seluruh perlakuan berada di bawah 3,5%, namun nilainya meningkat lebih dari dua kali lipat pada hari ke-90 penyimpanan dibandingkan hari ke-30, sejalan dengan rekristalisasi es yang berlangsung selama penyimpanan beku.

Dari kedua penelitian ini, meskipun menggunakan spesies, metode pembekuan, dan skala waktu penyimpanan yang berbeda, yaitu 46 hari pada Erikson *et al.* (2016) dan 30-90 hari pada Bao *et al.* (2023) variasi laju pembekuan yang dihasilkan oleh metode-metode pembekuan cepat berbasis udara umumnya tidak cukup besar untuk memunculkan perbedaan WHC yang signifikan, sedangkan durasi dan kondisi penyimpanan pascapembekuan jurstru menjadi determinan utama. Hal ini juga menjelaskan perbandingan antara ABF dan metode berbasis kontak langsung seperti *Slurry Ice Freezing* (SIF) pada Kwon *et al.* (2025), yang menunjukkan WHC ABF lebih rendah, kemungkinan mencerminkan perbedaan laju pembekuan yang jauh lebih ekstrem antara kedua metode tersebut dibandingkan perbedaan antarmetode berbasis yang relatif sepadan seperti pada Erikson *et al.* (2016).

Secara keseluruhan, hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa evaluasi efektivitas ABF terhadap WHC tidak dapat dilakukan hanya dengan membandingkan nilai pada satu titik waktu antarmetode pembekuan yang laju pembekuannya relatif sepadan, melainkan perlu mempertimbangkan interaksi antara besarnya kontras laju pembekuan yang dibandingkan dan kondisi penyimpanan beku pascapembekuan secara bersamaan.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Fisik (Mikrostruktur) Ikan Filet

Mikrostruktur merupakan struktur internal suatu bahan yang diamati menggunakan mikroskop untuk melihat susunan dan kondisi jaringan, serat otot, sel, maupun ruang antarsel. Pada filet ikan, analisis mikrostruktur digunakan untuk mengevaluasi tingkat kerusakan jaringan akibat proses pembekuan, penyimpanan, atau pengolahan (Zhang *et al.,* 2024). Melalui analisis ini, dapat diamati integritas sel, struktur serat otot, serta perubahan morfologi jaringan yang terjadi akibat perlakuan tertentu, termasuk pembekuan menggunakan ABF (Luo *et al.,* 2023).

Xu *et al.* (2018) melaporkan bahwa filet lele yang dibekukan menggunakan ABF mengalami penyusutan sel serta pembentukan kristal es ekstraseluler berukuran besar. Kondisi tersebut mengganggu distribusi air dalam jaringan, memperlebar ruang antarsel, dan membuat struktur miofibril menjadi kurang teratur dibandingkan filet segar. Hasil serupa juga ditemukan oleh Kwon *et al.* (2025), yang menunjukkan bahwa filet flounder yang dibekukan menggunakan ABF memiliki ruang antarsel yang lebih besar dibandingkan metode SIF. Temuan ini mengindikasikan bahwa kristal es yang terbentuk pada ABF cenderung lebih besar sehingga menyebabkan kerusakan jaringan yang lebih tinggi. Sementara itu, Erikson *et al.* (2016) membandingkan mikrostruktur filet Cod Atlantik yang dibekukan menggunakan ABF dan sistem CAS. Meskipun terdapat perbedaan laju pembekuan, kerusakan mikrostruktur yang diamati tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Secara keseluruhan, penggunaan ABF memengaruhi karakteristik fisik filet ikan, terutama pada struktur jaringan dan kondisi mikrostruktur. Selama pembekuan, air bebas di dalam jaringan berubah menjadi kristal es yang dapat menimbulkan tekanan mekanis pada sel otot. Apabila pembekuan berlangsung lebih lambat, kristal es yang terbentuk cenderung lebih besar sehingga berpotensi merusak membran sel, memperlebar ruang antarsel, dan mengubah susunan serat otot. Perubahan mikrostruktur ini dapat

menurunkan kemampuan jaringan dalam mempertahankan air selama penyimpanan dan pencairan, sehingga pada akhirnya berpengaruh terhadap mutu fisik filet ikan.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Kimia pH Ikan Filet

Regalado *et al.* (2024) melaporkan bahwa filet tilapia yang dibekukan menggunakan ABF pada suhu −25°C dengan kecepatan udara 1,25 m/s memiliki nilai pH sebesar 5,71. Nilai tersebut masih berada dalam kisaran normal ikan yang dibekukan dengan baik dan tidak menunjukkan perubahan signifikan dibandingkan kondisi segar, yang mengindikasikan bahwa ABF mampu menghambat aktivitas enzimatik serta degradasi protein yang dapat mempengaruhi pH. Sementara itu, Erikson *et al.* (2016) memperoleh nilai pH sebesar 7,25 pada filet Cod Atlantik yang dibekukan menggunakan ABF pada suhu -35°C dengan kecepatan 5 m/s, yang terbukti mampu mempertahankan nilai pH sebesar 7,25 Nilai pH yang relatif netral ini konsisten dengan kondisi filet ikan laut yang masih segar dan tidak menunjukkan tanda pembusukan.

Secara umum, penggunaan ABF berpengaruh terhadap karakteristik kimia filet ikan melalui kemampuannya dalam memperlambat reaksi biokimia selama penyimpanan beku. Suhu rendah dan laju pembekuan yang cepat pada proses pembekuan dapat menghambat aktivitas enzim dan mikroorganisme yang memicu degradasi protein, sehingga perubahan pH dapat ditekan. Meskipun demikian, selama penyimpanan beku perubahan kimia tetap dapat berlangsung akibat aktivitas enzim yang tersisa dan reaksi oksidasi. Oleh karena itu, kestabilan nilai pH pada filet ikan yang dibekukan menggunakan ABF menunjukkan bahwa metode ini cukup efektif dalam mempertahankan mutu kimia produk dan memperlambat penurunan kualitas.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Kimia Kadar Protein Miofibril Ikan Filet

Protein miofibrilar merupakan komponen protein utama dalam otot ikan yang berperan penting dalam menentukan tekstur, kemampuan mengikat air (WHC), dan kualitas fungsional produk perikanan. Selama proses pembekuan dan penyimpanan beku, protein miofibrilar dapat mengalami denaturasi yang ditandai dengan penurunan kelarutan serta perubahan sifat fungsional protein. Cartagena *et al.* (2023) melaporkan bahwa pada filet tuna albakora yang dibekukan dengan berbagai kondisi ABF, penurunan kelarutan protein miofibrilar lebih besar terjadi pada perlakuan dengan laju pembekuan yang lebih lambat. Kondisi ini diduga disebabkan oleh pembentukan kristal es yang lebih besar sehingga tingkat kerusakan struktur protein menjadi lebih tinggi.

Sementara itu*,* Kwon *et al*. (2025) menemukan bahwa kandungan protein miofibrilar pada filet flounder yang dibekukan menggunakan ABF mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan SIF selama penyimpanan beku. Hasil tersebut menunjukkan bahwa denaturasi protein pada ABF berlangsung lebih intensif, kemungkinan akibat pembentukan kristal es yang lebih besar dan kerusakan jaringan yang lebih tinggi dibandingkan metode pembekuan yang lebih cepat. Secara umum, hasil kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa laju pembekuan berperan penting dalam mempertahankan stabilitas protein miofibrilar. Pembekuan yang lebih cepat cenderung menghasilkan kristal es yang lebih kecil sehingga mampu mengurangi kerusakan struktur protein dan menjaga kualitas filet ikan selama penyimpanan beku.

Secara keseluruhan, ABF memengaruhi stabilitas protein miofibrilar filet ikan selama proses pembekuan dan penyimpanan. Pembentukan kristal es dapat mengubah struktur jaringan dan meningkatkan konsentrasi zat terlarut di sekitar protein, sehingga memicu denaturasi protein. Tingkat kerusakan protein sangat dipengaruhi oleh laju pembekuan, di mana pembekuan yang lebih cepat cenderung lebih mampu mempertahankan struktur protein. Perubahan pada protein miofibrilar ini selanjutnya dapat memengaruhi kemampuan mengikat air, tekstur, dan karakteristik fungsional filet ikan.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Kimia Oksidasi dan Denaturasi Protein Ikan Filet

Oksidasi dan denaturasi protein merupakan perubahan kimia dan struktural yang terjadi pada protein otot ikan selama proses pembekuan dan penyimpanan beku. Pada filet ikan yang dibekukan menggunakan ABF, pembentukan kristal es dapat merusak struktur protein miofibril dan meningkatkan kontak protein dengan oksigen, sehingga memicu terjadinya oksidasi protein. Oksidasi dan denaturasi protein selanjutnya dapat menyebabkan penurunan kelarutan protein, kemampuan mengikat air (WHC), serta kualitas tekstur filet ikan selama penyimpanan beku (Zhang *et al.,* 2024).

Bao (2023) menganalisis oksidasi dan denaturasi protein pada filet *large-mouth bass* yang dibekukan dengan berbagai laju pembekuan dan disimpan pada berbagai suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pembekuan yang lebih tinggi menghasilkan tingkat oksidasi protein yang lebih rendah selama penyimpanan karena waktu paparan terhadap kondisi yang memicu kerusakan protein menjadi lebih singkat. Namun, pada penyimpanan jangka panjang, tingkat oksidasi protein lebih dipengaruhi oleh suhu penyimpanan dibandingkan oleh laju pembekuan awal.

Secara keseluruhan, proses ABF dapat memengaruhi terjadinya oksidasi dan denaturasi protein pada filet ikan selama penyimpanan beku. Pembentukan kristal es dapat menyebabkan kerusakan struktur sel sehingga protein lebih mudah berinteraksi dengan oksigen dan senyawa oksidatif. Kondisi tersebut meningkatkan risiko oksidasi protein yang ditandai oleh perubahan struktur serta penurunan fungsi protein. Oleh karena itu, pengaturan suhu pembekuan dan kecepatan udara pada ABF menjadi faktor penting untuk meminimalkan kerusakan protein dan mempertahankan mutu filet ikan selama penyimpanan.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Kimia Asam Amino Bebas Ikan Filet

Asam amino merupakan unit penyusun protein yang berperan penting dalam nilai gizi, cita rasa, dan mutu filet ikan. Pada filet ikan yang dibekukan menggunakan abf, kandungan asam amino umumnya masih dapat dipertahankan, namun selama penyimpanan beku dapat terjadi perubahan akibat proses proteolisis, oksidasi protein, dan pembentukan kristal es. Perubahan tersebut dapat menyebabkan peningkatan atau penurunan beberapa asam amino bebas (*Free Amino Acids*/FAA) yang berpengaruh terhadap cita rasa umami, rasa manis, serta mutu keseluruhan filet ikan (Rusanova *et al*., 2022).

Xu *et al.* (2018) menganalisis kandungan asam amino bebas pada filet lele yang dibekukan menggunakan ABF dan menemukan bahwa metode tersebut menyebabkan penurunan senyawa pembentuk rasa dibandingkan *liquid immersion freezing*. Kondisi ini diduga terjadi akibat kebocoran cairan intraseluler yang mengandung asam amino bebas melalui membran sel yang rusak selama pembekuan. Akibatnya, kandungan asam amino bebas menurun dan cita rasa produk akhir ikut berkurang.

Secara keseluruhan, penggunaan ABF berpengaruh terhadap kandungan asam amino bebas pada filet ikan karena proses pembekuan dapat memengaruhi kestabilan protein sebagai sumber asam amino. Kerusakan membran sel akibat kristal es dapat menyebabkan keluarnya cairan sel yang membawa asam amino bebas, sehingga komponen pembentuk cita rasa ikan ikut berubah. Selain itu, degradasi protein selama penyimpanan beku juga dapat memengaruhi jumlah asam amino bebas. Perubahan tersebut pada akhirnya berdampak pada karakteristik rasa dan penerimaan sensori produk filet ikan.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Mikrobiologi *Total Plate Count* (TPC) Ikan Filet

*Total Plate Count (TPC)* merupakan parameter mikrobiologi yang digunakan untuk mengukur jumlah total bakteri hidup serta menjadi indikator mutu dan keamanan produk perikanan. Berdasarkan hasil kajian literatur, parameter TPC digunakan oleh Choiriyah *et al.* (2017) pada ikan swangi dan kurisi, Shrestha dan Bokkhim (2020) pada ikan patin siam, serta Sirait *et al.* (2022) pada ikan kerapu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan nilai TPC selama penyimpanan berkaitan dengan penurunan mutu organoleptik produk (Choiriyah *et al*., 2017). Pada filet ikan patin siam, penyimpanan beku mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme sehingga nilai TPC tetap berada pada batas yang dapat diterima serta mendukung pemeliharaan tekstur dan mutu sensori produk (Shrestha & Bokkhim, 2020). Temuan serupa dilaporkan oleh Sirait *et al.* (2022), yang menunjukkan bahwa pembekuan efektif menekan pertumbuhan bakteri dan memperlambat peningkatan nilai TPC sehingga mutu organoleptik ikan kerapu dapat dipertahankan selama penyimpanan. Oleh karena itu, TPC menjadi salah satu parameter penting dalam mengevaluasi efektivitas pembekuan dalam menjaga mutu filet ikan.

Secara umum, ABF memberikan pengaruh positif terhadap mutu mikrobiologi filet ikan karena suhu rendah selama pembekuan mampu menghambat pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme. Penurunan suhu menyebabkan proses metabolisme bakteri menjadi lebih lambat sehingga peningkatan jumlah mikroba dapat ditekan selama penyimpanan. Meskipun pembekuan tidak sepenuhnya membunuh mikroorganisme, ABF mampu mempertahankan jumlah mikroba tetap rendah sehingga membantu memperpanjang umur simpan dan menjaga keamanan produk filet ikan.

Pengaruh Penggunaan *Air Blast Freezing* (ABF) terhadap Mutu Sensori (Organoleptik) Ikan Filet

Organoleptik merupakan metode penilaian mutu pangan menggunakan indera manusia, meliputi kenampakan, warna, aroma, tekstur, dan rasa. Pada filet ikan yang dibekukan menggunakan ABF, uji organoleptik digunakan untuk menilai tingkat penerimaan konsumen terhadap mutu produk setelah proses pembekuan dan penyimpanan beku. Nilai organoleptik yang tinggi menunjukkan bahwa karakteristik filet ikan masih mendekati kondisi segar, sedangkan penurunan nilai organoleptik mengindikasikan terjadinya perubahan kualitas akibat kerusakan fisik, kimia, maupun mikrobiologis selama penyimpanan beku (Shrestha dan Bokkhim, 2020).

Pada pengujian organoleptik ikan kerapu dalam artikel Sirait *et al. (*2022), aspek yang dinilai meliputi kenampakan, bau, dan tekstur sesuai dengan SNI 2729:2013. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ikan kerapu memperoleh nilai organoleptik rata-rata 8 dengan karakteristik kenampakan utuh, bau segar, serta tekstur daging yang elastis, kompak, dan padat. Nilai tersebut telah memenuhi standar minimal ikan segar, yaitu 7 menurut SNI 2729:2013. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Choiriyah *et al*. (2017), dimana mayoritas responden memberikan nilai 8 pada aspek tekstur daging dan kenampakan. Tingginya nilai organoleptik tersebut menunjukkan bahwa proses pembekuan masih mampu mempertahankan karakteristik sensori ikan, terutama pada aspek kenampakan, bau, dan tekstur.

Secara umum, penggunaan ABF berpengaruh terhadap karakteristik sensori filet ikan melalui kemampuannya dalam mempertahankan atribut mutu seperti kenampakan, aroma, tekstur, dan penerimaan konsumen. Pembekuan yang tepat dapat memperlambat kerusakan jaringan, aktivitas mikroorganisme, dan reaksi kimia yang menyebabkan penurunan kualitas. Namun, apabila pembentukan kristal es berlangsung besar, tekstur ikan dapat mengalami kerusakan dan cairan banyak hilang saat pencairan. Oleh karena itu, kondisi proses ABF sangat menentukan kemampuan filet ikan dalam mempertahankan karakteristik sensori yang mendekati kondisi segar.

**Kesimpulan**

Berdasarkan hasil kajian literatur, metode pembekuan *Air Blast Freezing* (ABF) merupakan salah satu teknologi pembekuan yang efektif dalam mempertahankan mutu filet ikan selama penyimpanan beku. Efektivitas ABF dipengaruhi oleh kondisi pembekuan seperti suhu dan kecepatan udara yang menentukan laju pembekuan,

pembentukan kristal es, serta tingkat kerusakan jaringan. Evaluasi mutu filet ikan yang dibekukan dengan ABF dapat dilakukan melalui parameter fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensori.

Pada parameter fisik, ABF berperan dalam mempertahankan struktur jaringan filet ikan melalui pembentukan kristal es yang lebih kecil dan merata. Kondisi pembekuan yang optimal mampu menekan terjadinya *drip loss*, menjaga daya ikat air (WHC), serta mempertahankan tekstur filet selama penyimpanan beku sehingga kualitas fisik produk tetap terjaga.

Pada parameter kimia, proses ABF dapat memengaruhi tingkat oksidasi dan denaturasi protein selama penyimpanan beku. Laju pembekuan yang lebih cepat dan suhu penyimpanan yang rendah mampu mengurangi kerusakan protein, mempertahankan fungsi protein, serta menjaga kualitas filet ikan selama masa penyimpanan.

Pada parameter mikrobiologi, pembekuan dengan ABF terbukti mampu menghambat pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme sehingga peningkatan nilai *Total Plate Count* (TPC) dapat ditekan. Meskipun tidak membunuh seluruh mikroorganisme, suhu rendah selama pembekuan efektif memperlambat metabolisme bakteri dan membantu menjaga keamanan serta memperpanjang umur simpan produk.

Pada parameter sensori, penggunaan ABF mampu mempertahankan karakteristik filet ikan yang meliputi kenampakan, aroma, tekstur, dan tingkat penerimaan konsumen. Penghambatan aktivitas mikroorganisme, enzim, dan reaksi kimia selama penyimpanan berkontribusi dalam menjaga mutu sensori sehingga karakteristik produk tetap mendekati kondisi segar.

Secara keseluruhan, metode ABF efektif dalam mempertahankan mutu filet ikan selama penyimpanan beku ditinjau dari aspek fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensori. Oleh karena itu, pengaturan kondisi pembekuan yang tepat menjadi faktor penting untuk meminimalkan kerusakan mutu dan menghasilkan produk filet ikan beku dengan kualitas yang baik serta umur simpan yang lebih panjang.

**Daftar Pustaka**


Badarudin, M. I. 2025. Penanganan Pasca Panen Ikan: Teknik dan Teknologi. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah: Kab. Agam.

Bao, Y., Zhang, Y., and Xu, W. 2023. Effects of Different Freezing Rate and Frozen Storage Temperature on the Quality of Large-Mouth Bass (*Micropterus Salmoides*). Molecules. 28(14): 5432.

Cartagena, L., Puértolas, E., and de Marañón, I. M. 2021. Impact Of Different Air Blast Freezing Conditions on the Physicochemical Quality of Albacore (*Thunnus Alalunga*) Pretreated by High Pressure Processing. LWT – *Food Science and Technology*. 145, 111538.

Chan, S. S., Roth, B., Jessen, F., Jakobsen, A. N., and Lerfall, J. 2022. Water Holding Properties of Atlantic Salmon. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 21(1): 477-498.

Choiriyah, C., dan Sukma, R. N. (2017). Pengaruh Perbedaan Jenis Ikan dengan Metode Pembekuan Air Blast Freezer (ABF) Terhadap Mutu Ikan. Prosiding SNasPPM. 2(1), 173-176.

de Matos Regalado, K.L., Albergaria, F.C., de Souza Miranda, A.L., de Sousa Gomes, M.E., and de Resende, J.V. 2024. Quality and Microstructure of Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Fillets Subjected to Different Freezing Methods. International Journal of Refrigeration. 165: 303-314.

Dempsey, P., and Bansal, P. 2012. The Art of Air Blast Freezing: Design and Efficiency Considerations. Applied Thermal Engineering. 41: 71-83.

Duarte, A. M., Silva, F., Pinto, F. R., Barroso, S., and Gil, M. M. 2020. Quality Assessment of Chilled and Frozen Fish—Mini Review. Foods. 9(12): 1739.

Erikson, U., Kjørsvik, E., Bardal, T., Digre, H., Schei, M., Søreide, T. S., and Aursand, I. G. 2016. Quality of Atlantic Cod Frozen in Cell Alive System, Air-Blast, and Cold Storage Freezers. Journal of Aquatic Food Product Technology. 25(7): 1001-1020.

Food and Agriculture Organization. 2025. FAO Food Loss and Waste in Fish Value Chains. https://www.fao.org/flw-in-fish-value-chains/en/

Kwon, G. Y., Lee, J. B., Park, H. E., Kim, M. J., Lee, S. S., Kim, M. J. and Shim, K. B. 2025. Slurry Ice Freezing Enhances Quality Retention in Frozen Flounder (Paralichthys Olivaceus) During Storage. Applied Food Research. 5(2): 101327.

Leygonie, C., Britz, T. J., and Hoffman, L. C. 2020. Impact of Freezing and Thawing on the Quality of Meat: Review of Mechanisms and Predictive Factors. Food Chemistry. 316: 126284.

Luo, K., Feng, A., Lin, X., Fu, R., and Wei, H. 2023. Analysis of the Water State and Microfractal Dimension of Tilapia Fillets During Freezing and Thawing. Journal of Food Science. 88(3): 1089–1100.

Lv, Y., Chu, Y., Zhou, P., Mei, J., and Xie, J. 2021. Effects of Different Freezing Methods on Water Distribution, Microstructure and Protein Properties of Cuttlefish During the Frozen Storage. Applied Sciences. 11(15): 6866.

Masengi, S., Winda Sary, dan Hotmauli Sipahutar, Y. 2021. Pengaruh Cara Kematian dan Tahap Penurunan Mutu Filet Ikan Nila Merah (*Oreochromis Niloticus*). Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia. 24(2): 284–291.

Okuda, K., Kawauchi, A., and Yomogida, K. 2020. Quality Improvements to Mackerel (*Scomber Japonicus*) Muscle Tissue Frozen Using a Rapid Freezer with the Weak Oscillating Magnetic Fields. Cryobiology. 95: 130-137

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... and Moher, D. 2021.The PRISMA 2020 statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. BMJ. 372.

Rasul, M. G., Faruk, M. O., Sarkar, M. S. I., Akter, T., and Shah, A. K. M. 2022. Post-mortem Biochemical, Microbiological and Sensory Quality Changes in the Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idella*) during Ice Storage. Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries. 26(5): 175.

Ravishankar, C. N., and Mohan, C. O. 2023. Advancement in Fish Processing Technology: The Indian Scenario. In R. K. Mejumder & A. K. Balange (Eds.), Advances in Fish Processing Technologies (pp. 3–29). Apple Academic Press: Canada.

Rusanova, P., Bono, G., Dara, M., Falco, F., Gancitano, V., Lo Brutto, S., Okpala, C. O. R., Nirmal, N. P., Quattrocchi, F., Sardo, G., and Hassoun, A. 2022. Effect of Different Packaging Methods on the Free Amino Acid Profiles of the Deep-Water Rose Shrimp (*Parapenaeus Longirostris*) During Frozen Storage. Frontiers in Nutrition. 9: 955216.

Sayuti, M. T. P. Berlian, and R. R. Siregar. 2024. Pengamatan Sistem Rantai Dingin, Pengujian Mutu, Rendemen, Produktivitas dan Kelayakan Dasar Pengolahan Fillet Ikan Lemadang (*Coryphaena Hippurus*) Beku. Buletin Jalanidhitah Sarva Jivitam. 6(2): 37-54.

Shrestha, R., and Bokkhim, H. 2020. Study on Textural, Microbial and Sensory Quality of Blast Frozen Pangasius Fish Fillets Under Frozen Storage. Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri. 9(2): 83–90.

Sirait, J., Siregar, A. N., Mayangsari, T. P., and Sipahutar, Y. H. 2022. Penerapan Good Manufacturing Practice (GMP) dan Sanitation Standard Operation Procedures (SSOP) pada Pengolahan Fillet Ikan Kerapu (*Epinephelus sp*) Beku. Marlin: Marine and Fisheries Science Technology Journal. 3(1): 43–53.

Tan, M., Mei, J., and Xie, J. 2021. The Formation and Control of Ice Crystal and its Impact on the Quality of Frozen Aquatic Products: A Review. Crystals. 11(1): 68.

Xu, Y., Song, M., Xia, W., and Jiang, Q. 2019. Effects of Freezing Method on Water Distribution, Microstructure, and Taste Active Compounds of Frozen Channel Catfish (*Ictalurus Punctatus*). Journal of Food Process Engineering. 42(1): e12937.

Zhang, M., Huan, Y., Li, X., Leng, X., and Luo, Y. 2024. Effects of Liquid Nitrogen Freezing, Immersion Freezing, and Air Freezing on Properties of Perca Fluviatilis Fillets and Analysis of Potential Protein Markers Based on Label-Free Proteomics. Food Biosciences. 59: 104262.