

AIR BLAST FREEZING UPAYA PENINGKATAN EKSPOR UDANG *BLACK TIGER* INDONESIA : REVIEW

Fikri Fahlevi Nasution¹⁾, Awaludin Martin¹⁾

¹⁾Teknik Mesin, Universitas Riau, Kampus Bina Widya KM. 12,5, Simpang Baru,
Pekanbaru, 28293
E-mail: fikrifahlevi7@mail.com

Abstract

Indonesia is a maritime country that has a very diverse marine and fisheries potential. One of the biggest potentials is shrimp, black tiger shrimp has a high export value and demand. In the process of exporting black tiger shrimp, the obstacle faced is the growth of microorganisms that make shrimp rot quickly, so shrimp need to be frozen at low temperatures. Air blast freezing is one of the fast freezing techniques that can maintain product quality, Air blast freezing generally has a temperature range between -35 °C to -52 °C. Shrimp freezing temperature ranges from -18°C to -25°C for shrimp to last up to 6 months. In a series of studies related to air blast freezing, various methods and parameters have been tested to improve the efficiency and quality of product cooling. Air blast freezing has been proven effective in maintaining the quality of frozen products with high freezing speed. The use of appropriate refrigerants and refrigeration technologies, such as cascade refrigeration systems, can also improve the efficiency and achievable cooling temperatures. In addition, precooling and the influence of cooling rate also play an important role in improving the quality of frozen products.

Keywords: *air blast freezing, freezing, export, black tiger shrimp*

Abstrak

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki potensi kelautan dan perikanan yang sangat beragam. Salah satu potensi terbesar adalah udang, udang *black tiger* memiliki nilai ekspor dan permintaan yang tinggi. Dalam proses ekspor udang *black tiger* kendala yang dihadapi adalah pertumbuhan mikroorganisme yang membuat udang cepat membusuk, sehingga udang perlu dibekukan pada temperatur rendah. *Air blast freezing* merupakan salah satu teknik pembekuan cepat yang dapat menjaga kualitas produk, *Air blast freezing* umumnya memiliki kisaran temperatur antara -35°C hingga -52°C. Temperatur beku udang berkisar antara -18°C hingga -25°C agar udang bertahan hingga 6 bulan. Dalam serangkaian penelitian terkait *air blast freezing*, berbagai metode dan parameter telah diuji untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas pendinginan produk. *Air blast freezing* telah terbukti efektif dalam mempertahankan kualitas produk beku dengan kecepatan pembekuan yang tinggi. Penggunaan refrigerant dan teknologi pendinginan yang tepat, seperti sistem *cascade refrigeration*, juga dapat meningkatkan efisiensi dan temperatur pendinginan yang dapat dicapai. Selain itu, *precooling* dan pengaruh laju pendinginan juga memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas produk beku.

Kata Kunci: *air blast freezing, pembekuan, ekspor, udang black tiger*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Terbang dari Sabang hingga Merauke, Indonesia memiliki 17.499 pulau dengan luas total wilayah Indonesia

sekitar 7,81 juta km². Dari total luas wilayah tersebut, 3,25 juta km² adalah lautan dan 2,55 juta km² adalah Zona Ekonomi Eksklusif. Hanya sekitar 2,01 juta km² yang berupa daratan. Dengan luasnya wilayah laut yang ada, Indonesia memiliki potensi kelautan dan perikanan yang sangat besar (Kementrian Kelautan dan Perikanan, 2020).

Potensi kelautan dan perikanan di Indonesia sangat beragam dan menjadi salah satu sektor penting dalam perekonomian negara ini. Berkat wilayah laut yang luas dan keragaman ekosistem perairannya, Indonesia memiliki potensi besar untuk menghasilkan berbagai jenis ikan, udang, moluska, dan hasil perikanan lainnya. Beberapa hasil perikanan penting yang diperoleh dari perairan Indonesia meliputi ikan tuna, ikan tongkol, ikan kakap merah, udang, cumi-cumi, dan jenis-jenis kerang. Selain itu, terumbu karang di perairan Indonesia juga mendukung ekosistem laut yang kaya dan menjadi tempat hidup bagi berbagai spesies ikan dan biota laut lainnya (Kementrian Kelautan dan Perikanan, 2020).

Udang adalah salah satu potensi ekonomi kelautan dan perikanan dimana, produksi udang di Indonesia mencapai 1,21 juta ton dengan nilai Rp79,21 triliun pada 2021. Jumlah tersebut naik 9,20% dibandingkan pada tahun sebelumnya yang sebesar 1,11 juta ton dengan nilai Rp66,53 triliun (Widi, 2022). Secara rinci, produksi udang yang berasal dari hasil budi daya sebanyak 943.481,18 ton pada tahun lalu. Nilai produksi dari budi daya udang mencapai Rp63,2 triliun. Produksi udang dari hasil tangkap laut sebanyak 247.501,15 ton pada 2021. Nilai produksi udang dari hasil tangkap laut sebesar Rp14,59 triliun. Sementara, produksi udang dari hasil tangkap perairan umum daratan (PUD) sebesar 18.183,47 ton. Nilai produksi udang dari jenis usaha ini mencapai Rp1,43 triliun (Widi, 2022).

Sementara itu nilai ekspor udang Indonesia mencapai Rp 32,64 triliun pada tahun 2021. Pada periode 2020-2024, nilai ekspor udang ditargetkan mencapai USD 4,25 miliar atau tumbuh 250%, sedangkan produksi ditargetkan 2 juta ton. Guna mencapai target itu, setiap tahun volume ekspor diharapkan tumbuh 15% dan nilai ekspor naik 20%. Beberapa negara importir udang Indonesia ini adalah USA, Japan, Uni Eropa dan China (MMAF, 2022).

Salah satu hasil perikanan yang memiliki nilai ekspor dan permintaan yang tinggi adalah Udang *Black Tiger* (*Penaeus monodon*). Udang *black tiger* yang hidup di laut memiliki panjang hingga 35 cm dan berat 260 gram/ekor. Seiring perjalanan waktu udang

ini sering dibudidayakan ditambak, namun jika dipelihara di tambak panjang tubuhnya hanya mencapai 20 cm dan berat sekitar 140 gram. Udang ini memiliki ukuran yang besar dan rasa dagingnya yang lezat, serta kecocokannya untuk diolah menjadi berbagai produk olahan laut membuat udang ini diminati pasar dalam dan luar negeri (Husnah et al., 2021).

Peningkatan ekonomi melalui ekspor udang *black tiger* merupakan salah satu contoh dalam pemanfaatan potensi alam yang dimiliki Indonesia. Salah satu kendala dalam kegiatan ekspor udang *black tiger* adalah pertumbuhan mikroorganisme. Mikroorganisme adalah masalah yang serius dan dapat mempengaruhi kualitas dan kesegaran produk. Mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan yeast dapat berkembang biak dengan cepat pada temperatur yang lebih tinggi, menyebabkan pembusukan dan penurunan mutu produk. Oleh karena itu, untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme dilakukan pembekuan udang. Udang dibekukan dengan sistem *quick freezing* pada temperatur -18°C hingga -25°C . Udang segar dibekukan dengan baik dan disimpan pada temperatur dibawah -17°C dapat tahan sampai 6 bulan (Peraturan Direktur Jendral Penguatan Daya Saing Produk Kelautan Dan Perikanan, 2019).

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji sejauh mana *air blast freezing* menjadi salah satu alat dalam melakukan pembekuan udang ekspor yang dimiliki Indonesia. Upaya ini dilakukan sebagaimana menjadi nilai tambah pada ekspor udang *black tiger*.

METODE PENELITIAN

Artikel ini disusun menggunakan metode kualitatif mengenai *air blast freezing* adalah pendekatan penelitian yang mengutamakan pemahaman mendalam terhadap aspek-aspek kualitatif dari fenomena ini. Dalam konteks *air blast freezing*, metode kualitatif dapat digunakan untuk menganalisis faktor-faktor seperti temperatur, laju aliran udara, refrigerant pada sistem *air blast freezing*. Serta tekstur, warna, rasa, dan aroma pada produk yang telah mengalami proses pembekuan.

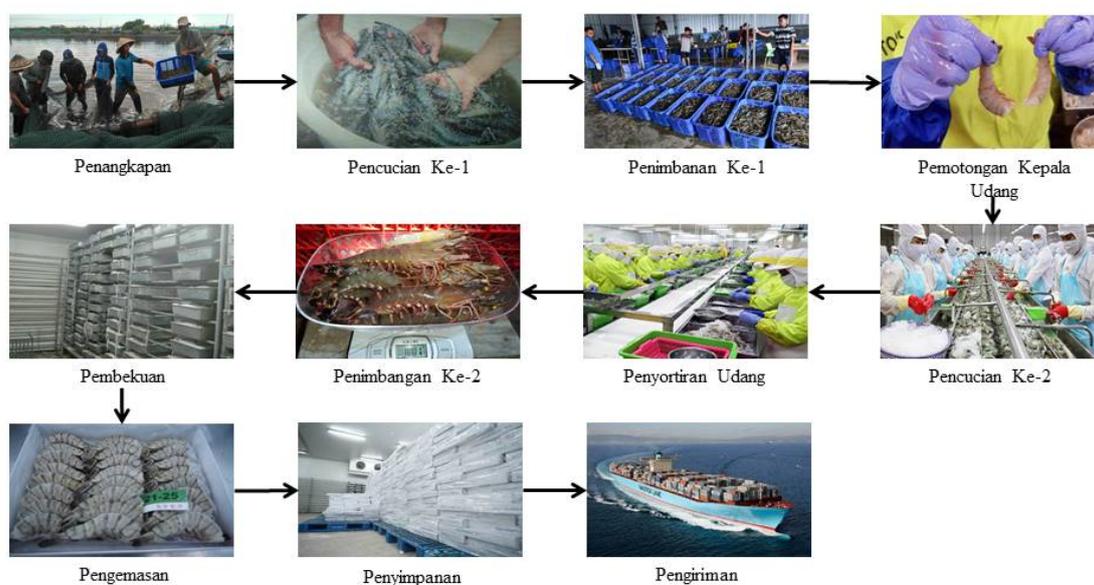
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rantai Dingin Udang *Black Tiger*

Rantai dingin atau *cold chain* merupakan sistem rantai pasok (supply chain) yang sangat memperhatikan tingkatan temperatur pada setiap prosesnya. Tujuan dari rantai dingin ini adalah menjaga produk supaya tetap bersuhu dingin atau beku. Temperatur

dingin ini tidak hanya diperlukan untuk proses distribusi. Produk-produk tertentu juga diproduksi dengan memperhatikan temperatur di lingkungan tersebut. Begitu juga dalam proses penyimpanan serta penjualannya. Ini dilakukan untuk menjaga kualitas produk dan mempertahankannya supaya tidak mudah rusak. Dengan diberlakukannya sistem rantai dingin, kualitas ikan dan produk tangkapan dari laut lainnya bisa terjaga dengan baik. Harga produk perikanan juga bisa dijaga agar tetap stabil berkat penggunaan sistem rantai dingin (Suryanto & Sipahutar, 2018).

Gambar 1 dibawah ini menunjukkan rantai dingin atau *cold chain* dari kegiatan ekspor udang beku mulai dari penangkapan hingga proses pengiriman ke negara tujuan ekspor.



Gambar 1. Rantai Dingin Ekspor Udang *Air Blast Freezing*

Air Blast Freezing

Air blast freezing merupakan salah satu teknik pembekuan cepat yang dapat menjaga kualitas produk dengan memperkecil ukuran kristal es yang terbentuk di dalam produk karena semakin banyaknya titik nukleasi tempat terbentuknya kristal es. Udara dingin digunakan sebagai media perpindahan panas selama *blast freezing*. Ini adalah proses yang dengan cepat membekukan produk dari temperatur dingin atau temperatur lingkungan ke temperatur yang diinginkan melalui mode perpindahan panas konveksi dan bergantung pada kontak antara produk dan udara.



Gambar 1. *Air Blast Freezing* (Moerman & Fikiin, 2016)

Sistem pendingin air blast freezing umumnya memiliki kisaran temperatur penguapan antara -35°C hingga -52°C . Temperatur beku yang dibutuhkan setiap produk berbeda-beda satu sama lain. Misalnya, produk ikan biasanya harus dijaga pada temperatur rata-rata -30°C , sedangkan produk daging sapi harus dijaga pada kisaran -18°C hingga -25°C untuk periode pengawetan satu tahun atau lebih. Namun setiap jenis makanan, setiap jenis ikan, dan setiap jenis daging memerlukan kondisi tertentu (Sian et al., 2023).

Keuntungan Dan Tantangan

Air blast freezing telah membuka peluang baru dan memberikan manfaat signifikan bagi industri makanan dan penyimpanan makanan pada umumnya. Keuntungan utama dari teknologi ini adalah kemampuannya untuk mempertahankan kualitas nutrisi makanan, memperpanjang umur simpan produk, mengurangi pertumbuhan mikroba, serta menjaga tekstur dan rasa makanan (Nguyen et al., 2019). Hal ini memberikan solusi yang sangat diperlukan dalam upaya memenuhi permintaan akan makanan yang lebih sehat dan lebih awet. Namun, penelitian dan implementasi teknologi *air blast freezing* juga dihadapkan pada tantangan yang tidak dapat diabaikan.

Tantangan terbesar adalah biaya investasi awal yang tinggi dan konsumsi energi yang cukup besar (Sian et al., 2023). Sementara itu, menjaga kualitas produk yang konsisten dan mengatasi kerusakan sel makanan yang mungkin terjadi selama proses adalah hal-hal yang memerlukan pemahaman mendalam dan pengawasan yang cermat. Meskipun demikian, dengan terus berlanjutnya penelitian dan inovasi, serta kesadaran akan manfaatnya, *air blast freezing* tetap menjadi area penelitian yang menarik dan penuh

potensi untuk mengatasi tantangan tersebut demi menciptakan solusi yang lebih baik dalam pengolahan dan penyimpanan makanan di masa depan.

Aplikasi Dalam Industri Perikanan

Penggunaan *air blast freezing* menjadi peran penting dalam industri makanan dan hasil perikanan, dimana menghasilkan produk berkualitas tinggi yang dapat dinikmati oleh konsumen di seluruh dunia. Dalam industri makanan, metode pembekuan cepat ini (*air blast freezing*) dengan menghembuskan udara super dingin (-35°C s.d -52°C) dengan kecepatan tinggi, makanan dan hasil perikanan dapat diubah menjadi keadaan beku. Hal ini menjaga tekstur, rasa dan nilai gizi makanan, sambil memperpanjang masa simpannya.

Sementara itu, dalam industri hasil perikanan, *air blast freezing* juga memegang peran utama. Ikan segar yang segera dibekukan dengan metode ini menjalani proses yang sangat cepat, mengurangi risiko kerusakan jaringan ikan dan pembentukan kristal es yang merusak. Hasilnya adalah produk ikan yang tetap segar, dengan rasa dan tekstur yang hampir sama dengan ikan segar. Aplikasi *air blast freezing* juga membantu industri perikanan mengatasi tantangan penanganan hasil tangkapan yang mudah membusuk. Dengan demikian, penggunaan *air blast freezing* telah meningkatkan kualitas dan ketersediaan makanan dan produk perikanan, memungkinkan konsumen menikmati pilihan makanan berkualitas sepanjang tahun, sambil mengurangi pemborosan makanan.

Penelitian Terkait Air Blast Freezing

Tabel 1
Penelitian Terdahulu Terkait *Air Blast Freezing*

Authors	Method	Result
(Syaka et al., 2018)	Sampel : - Refrigerant : R22 Desain sistem pendingin skala rumah tangga, menggunakan kompresor dan kondensor komersial 735 Watt. Cooling chamber 142 L	Temperatur evaporator : -30°C Temperatur cooling chamber : $-22,4^{\circ}\text{C}$
(Syaka et al., 2019)	Sampel : - Refrigerant : R22/R32 Desain sistem menggunakan software DanCap untuk menghitung diameter dan panjang pipa kapiler, Refprop 8 untuk menghitung property dari refrigerant. Sistem pendingin dirancang dengan kapasitas 500 Watt	Temperatur evaporator : -40°C Temperatur cooling chamber : -28°C COP desain : 1,418 COP pengujian : 1,018
(Zhao et al., 2019)	Sampel : ikan <i>golden pomfret</i>	Hasil menunjukkan bahwa laju pembekuan sampel meningkat secara

- Eksperimen pada *cryogenic freezing* menggunakan nitrogen cair, dilakukan proses *precooling* pada kulkas (5°C) dan potongan es batu (0°C)
- (Zhang et al., 2020) Sampel : -
Refrigerant : R1270/CO2
Eksperimen pada sistem *cascade refrigeration*
- (Jiang et al., 2020) Sampel : *grass carp*
Eksperimen pada tiga metode pembekuan *air blast freezing*, *immersion freezing* dan *liquid nitrogen freezing* terhadap bentuk kristal es yang dihasilkan pada *grass carp*. Dimana pembekuan dilakukan pada temperatur -30°C
- (Mowafy et al., 2020) Sampel : Kurma Medjol
Melakukan eksperimen berupa pengaruh laju pembekuan (*freezing rate*) pada Kurma Medjol. Air blast freezing dilakukan variasi temperatur -20°C -25°C dan -30°C terhadap parameter kualitas Kurma Medjol
- (Lv et al., 2021) Sampel : *cuttlefish*
Eksperimen pada enam metode pembekuan terhadap produk *cuttlefish*. Enam metode pembekuan ini terdiri dari; refrigerator direct-freezing, saline solution impregnation freezing, flat freezing, tunnel type continuous freezing, air blast freezing dan liquid nitrogen freezing) pada temperatur -18°C dan disimpan selama 90 hari
- (Cartagena et al., 2021) Sampel : *albarco steaks*
Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh kondisi air blast freezing (-20°C dan 1m/s, -20°C dan 5m/s, -50°C dan 1m/s, -50°C dan 5m/s)
- (Bai, Li, et al., 2021) Sampel : -
Refrigerant : R170/R290
eksperimen pada sistem pendingin Joule-Thomson dengan mencampurkan refrigerant R170 dan R290 terhadap kinerja sistem
- signifikan setelah pendinginan awal dalam es batu. Pendinginan awal dalam es batu (0°C) dan pembekuan dengan media dingin 1,7 m/s pada suhu -100°C secara berturut-turut merupakan metode yang paling efisien untuk menjaga kualitas *golden pomfret* beku
Hasilnya didapat temperatur kondensasi dan penguapan sistem cascade yang konstan, seiring dengan penurunan temperatur penguapan R1270 (dari -7°C menjadi -19°C), COP sistem cascade meningkat. Efisiensi isentropik kompresor R1270 menurun dari 78,5% menjadi 74,7% ketika temperatur penguapan R1270 meningkat dari -19°C menjadi -7°C
Dari hasil penelitiannya didapat bahwa kecepatan pembekuan *immersion freezing* 4,22 kali lipat dibandingkan dengan *air blast freezing* dan *liquid nitrogen freezing*. Secara keseluruhan *immersion freezing* merupakan cara yang menjanjikan untuk menunda degradasi pada ikan selama penyimpanan dalam keadaan beku
Freezing rate masing variasi temperatur adalah 2,61°C/mnt 3,51°C/mnt dan 4,35°C/mnt. *Freezing rate* tertinggi (4,35°C/mnt) adalah yang terbaik dalam mempertahankan warna, TSS, dan EL yang mendekati level Kurma Medjool segar
Hasil analisa secara komprehensif menunjukkan bahwa kecepatan pembekuan air blast freezing lebih cepat dan kualitas cuttlefish dalam proses pembekuan lebih baik, merupakan metode pembekuan yang lebih direkomendasikan
Didapat hasil bahwa, kondisi pembekuan paling lambat (-20°C dan 1 m/s) dan paling cepat (-50°C dan 5 m/s). Pada temperatur -50°C (pada 1 atau 5 m/s) akan mencapai hasil terbaik di *albacore steaks* setelah penyimpanan beku hingga 9 bulan
Hasilnya menunjukkan bahwa konsentrasi campuran berdampak signifikan terhadap kinerja sistem. Temperatur pembekuan terendah, laju pendinginan tercepat, dan konsumsi energi minimum harian sebesar 3,612

(Bai, Lu, et al., 2021)	Sampel : - Melakukan analisis performa pada sistem pendingin cascade dengan penambahan Ejector.	kWh diperoleh pada konsentrasi R170 optimal sebesar 35% Dalam penelitiannya, siklus pendinginan cascade two stage yang ditingkatkan ejector menggunakan campuran terner R600a/R32/R1150 diusulkan untuk penerapan pembekuan -80°C. Hasilnya menunjukkan bahwa campuran terner R600a/R32/R1150 mempunyai rasio fraksi massa optimal sebesar 0,45/0,2/0,35 terhadap COP maksimum, nilai COP meningkat sebesar 4,9% Pembekuan <i>Aristaeomorpha foliacea</i> selama 30 hari pada temperatur -18°C, ditemukan bahwa metode pembekuan dan pencairan dengan <i>air blast freezing</i> dapat menjaga sifat fisik, kimia, dan sensorik udang lebih baik dibandingkan metode lainnya
(Han & Gokoglu, 2021)	Sampel : <i>Aristaeomorpha foliacea</i> Menyelidiki pengaruh metode pembekuan dan pencairan terhadap karakteristik fisik, kimia dan sensorik udang merah (<i>Aristaeomorpha foliacea</i>). Metode pembekuan udang merah ini dibagi menjadi tiga diantaranya adalah <i>air blast freezing</i> , <i>still freezing</i> dan <i>cryogenic freezing</i>	Hasil menunjukkan, peningkatan kekerasan sampel sebesar 73% dan pengurangan kehilangan tetesan sebanyak 7 kali lipat ketika kondisi pengoperasian diubah dari -20°C dan 0,4 m/s (<i>freezer</i> rumah tangga) menjadi -53°C dan 6,5 m/s (<i>air blast freezing</i>) Didapat hasil waktu pendinginan optimal pada ruang depan adalah 5 jam, ruang ABF 3,5 jam dengan kecepatan udara masuk 8 m/s, dan 6 jam pada ruang freezer dengan kecepatan udara masuk 2 m/s
(Da Silva et al., 2022)	Sampel : <i>fragaria x ananassa</i> Melakukan penelitian <i>air blast freezing</i> pada sampel strawberry (<i>fragaria x ananassa</i>) yang dibekukan pada temperatur dan kecepatan udara yang berbeda-beda.	
(Budiyanto et al., 2023)	Sampel : <i>tuna fish</i> Melakukan penelitian simulasi distribusi aliran udara dan performa pendingin. Simulasi distribusi aliran udara dingin dibagi menjadi 3 bagian diantaranya adalah ante room dengan ukuran 1,5×2,3×2,2 m, ABF room 1×2,3×2,2 m dan freezer room 3×2,3×2,2 m. Beban pendinginan yang digunakan adalah tuna fish, serta insulasi yang digunakan adalah Aluminium 8mm, Polyurethane 133mm dan stainlessstell 9mm.	
(Evelopment et al., 2023)	Sampel : Susu sapi melakukan penelitian pada pembekuan susu sapi melalui tiga metode; refrigerated, frozen-thawed, dan blast frozen-thawed terhadap komposisi fisikokimia	Berdasarkan hasil penelitian ini, blast freezing dapat dianggap sebagai kondisi penyimpanan susu yang sesuai dalam jangka panjang sebelum diproses lebih lanjut tanpa berdampak negatif pada komposisi fisiknya sebagai produk susu cair
(Sian et al., 2023)	Sampel : Durian <i>packages</i> Melakukan simulasi CFD pada produk pasta durian <i>packages</i> . Simulasi dilakukan pada lima variasi susunan dari durian, ada yang L1 tumpuk tunggal horizontal, L2 tumpuk ganda horizontal, L3 tumpuk vertikal, L4 tumpuk mirip sirip tanpa celah, dan L5 tumpuk mirip sirip dengan celah 3,925	Berdasarkan hasil simulasi, L5 mencapai kecepatan pembekuan tercepat di antara kelima tata letak, dengan temperatur 26°C turun hingga -20°C dalam 90 menit, diikuti oleh L3 dalam 140 menit, L1 dalam 150 menit

mm. Semua tata letak memiliki jumlah yang sama 90 paket pasta durian, temperatur awal 26°C dan disimulasikan selama 240 menit dengan temperatur -30°C

SIMPULAN

Air blast freezing adalah teknologi penting dalam pengolahan dan penyimpanan hasil laut yang telah mengalami perkembangan signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Proses *air blast freezing* melibatkan pendinginan cepat hasil laut dengan aliran udara dingin -35°C hingga -52°C, yang memungkinkan produk untuk mencapai temperatur rendah dengan cepat (-18°C hingga -25°C). Keuntungan utama dari teknologi ini meliputi kemampuannya untuk mempertahankan kualitas nutrisi makanan, memperpanjang umur simpan produk, dan mengurangi pertumbuhan mikroba. Selain itu, proses ini juga menjaga tekstur dan rasa makanan, membuatnya menjadi solusi penting dalam memenuhi permintaan akan makanan yang lebih segar dan lebih awet.

Namun, *air blast freezing* juga dihadapkan pada sejumlah tantangan yang perlu diatasi. Biaya investasi awal yang tinggi dan konsumsi energi yang besar dapat menjadi hambatan bagi beberapa produsen. Pengelolaan temperatur yang tepat dan pengawasan kualitas produk yang cermat juga merupakan tantangan penting dalam menjaga konsistensi produk.

Dalam industri makanan dan perikanan, *air blast freezing* telah diterapkan secara luas, membantu menghasilkan produk beku yang berkualitas tinggi. Perkembangan terbaru dalam teknologi *air blast freezing* terus meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil akhir. Sementara itu, dampak lingkungan dan kesehatan dari teknologi ini perlu terus dipertimbangkan, dengan fokus pada penggunaan energi yang lebih efisien dan pengurangan limbah.

Regulasi dan standar yang berlaku juga penting dalam mengawasi penggunaan *air blast freezing* dalam berbagai industri. Temperatur beku setiap produk berbeda-beda, misalnya produk ikan biasanya dijaga pada temperatur -30°C, udang dan sejenisnya pada temperatur -18°C hingga -25°C. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang manfaat, tantangan, dan dampaknya, serta regulasi yang ketat, *air blast freezing* tetap menjadi solusi berharga dalam memenuhi kebutuhan konsumen akan makanan yang berkualitas dan aman. Dalam rangka menghadapi tantangan masa depan dalam pengolahan makanan,

penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam teknologi ini akan tetap relevan dan bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bai, T., Li, D., Xie, H., Yan, G., & Yu, J. (2021). Experimental research on a Joule–Thomson refrigeration cycle with mixture R170/R290 for $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ low–temperature freezer. *Applied Thermal Engineering*, 186(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116476>
- Bai, T., Lu, Y., Yan, G., & Yu, J. (2021). Performance Analysis of an Ejector Enhanced Two-Stage Auto-Cascade Refrigeration Cycle for Low Temperature Freezer. *Journal of Thermal Science*, 30(6), 2015–2026. <https://doi.org/10.1007/s11630-020-1290-6>
- Budiyanto, M. A., Imamudien, O., Lubis, A., Alhamid, M. I., & Shinoda, T. (2023). Air flow distribution and cooling performance on modular cold storage for fishery commodity. *Energy Reports*, 9(February), 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.05.241>
- Cartagena, L., Puértolas, E., & Martínez de Marañón, I. (2021). Impact of different air blast freezing conditions on the physicochemical quality of albacore (*Thunnus alalunga*) pretreated by high pressure processing. *Lwt*, 145(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111538>
- Da Silva, D. L., Silveira, A. S., Ronzoni, A. F., & Hermes, C. J. L. (2022). Effect of freezing rate on the quality of frozen strawberries (*Fragaria x ananassa*). *International Journal of Refrigeration*, 144, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.07.006>
- Evelopment, D., Xtension, E., Echnology, T., Moreno, M. C. R., & Emata, O. C. (2023). *Physicochemical compositions of fluid milk products made from refrigerated , frozen-thawed , and blast fro- zen- thawed cow ' s milk*. 5(1), 1–8.
- Han, A. T., & Gokoglu, N. (2021). Effects of Different Freezing and Thawing Methods on the Quality of Giant Red Shrimp. *Acta Aquatica*, 8(8), 98–102.
- Husnah, S., Yuliana, Y., & Ratnawati, R. (2021). Manajemen alur proses produksi udang windu beku dengan metode Individual Quick Frozen di PT. Madsumaya Indo Seafood, Gresik. *Agrokompleks*, 21(1), 40–47. <https://doi.org/10.51978/japp.v21i1.331>
- Jiang, Q., Yin, T., Yang, F., Yu, D., Xu, Y., Tie, H., Gao, P., Wang, B., & Xia, W. (2020). Effect of freezing methods on quality changes of grass carp during frozen storage. *Journal of Food Process Engineering*, 43(11). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13539>
- Peraturan Direktur Jendral Penguatan Daya Saing Produk Kelautan Dan Perikanan, (2019).
- KKP. (2020). *Konservasi Perairan Sebagai Upaya menjaga Potensi Kelautan dan Perikanan Indonesia*. Direktorat Jendral Pengelolaan Ruang Laut. <https://kkp.go.id/djprl/artikel/21045-konservasi-perairan-sebagai-upaya-menjaga-potensi-kelautan-dan-perikanan-indonesia>
- Lv, Y., Chu, Y., Zhou, P., Mei, J., & Xie, J. (2021). Effects of different freezing methods on water distribution, microstructure and protein properties of cuttlefish during the

- frozen storage. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15), 1–18. <https://doi.org/10.3390/app11156866>
- MMAF. (2022). Export Statistics of Fishery Products for 2017-2021. *Ministry of Maritime Affairs and Fisheries*, 723.
- Moerman, F., & Fikiin, K. (2016). Hygienic Design of Air-Blast Freezing Systems. In *Handbook of Hygiene Control in the Food Industry: Second Edition*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100155-4.00020-0>
- Mowafy, S. G., Sabbah, M. A., Mostafa, Y. S., & Elansari, A. M. (2020). Effect of freezing rate on the quality properties of Medjool dates at the tamr stage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14938>
- Nguyen, T. T. T., Pham, Q. P., Do, Q. K., Vo, C. C., & Nguyen, T. V. (2019). A study on the texture quality of vietnamese catfish (*pangasius hypophthalmus*) fillets after different freezing processes. *ACM International Conference Proceeding Series*, 169–174. <https://doi.org/10.1145/3375923.3375958>
- Sian, L. T., Lee, Y. Y., Hing, C. K., & Voon, C. S. C. (2023). A CFD Analysis of Core Temperature for Different Durian Paste Packages Layouts during Air-Blast Freezing. *CFD Letters*, 15(1), 1–16. <https://doi.org/10.37934/cfdl.15.1.116>
- Suryanto, M. R., & Sipahutar, Y. H. (2018). Penerapan GMP dan SSOP pada Pengolahan Udang Putih (*Litopenaeus vannamei*) Peeled Deveined Tail On (PDTO) Masak Beku di Unit Pengolahan Ikan Banyuwangi. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL KELAUTAN DAN PERIKANAN KE - VII Universitas Nusa Cendana*, 1(1), 204–221.
- Syaka, D. R. B., Sukarwo, R., & Azhar, A. (2018). *Characteristics of Household Air Blast Freezing Design for Marine Products*. 109–116. <https://doi.org/10.4108/eai.24-10-2018.2280639>
- Syaka, D. R. B., Wayan Sugita, I., & Bijaksana, M. (2019). Characteristics study of two-stage cascade refrigeration system design for household air blast freezing. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(1), 1804–1813.
- Widi, S. (2022). *Produksi Udang Indonesia Capai 1,21 Juta Ton pada 2021*. DataIndonesia.Id. <https://dataindonesia.id/agribisnis-kehutanan/detail/produksi-udang-indonesia-capai-121-juta-ton-pada-2021>
- Zhang, Y., He, Y., Wang, Y., Wu, X., Jia, M., & Gong, Y. (2020). Experimental investigation of the performance of an R1270/CO2 cascade refrigerant system. *International Journal of Refrigeration*, 114, 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.02.017>
- Zhao, Y., Ji, W., Chen, L., Guo, J., & Wang, J. (2019). Effect of cryogenic freezing combined with precooling on freezing rates and the quality of golden pomfret (*Trachinotus ovatus*). *Journal of Food Process Engineering*, 42(8), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13296>