

Inovasi Coolbox Bio-PCM Gel Berbasis Daun Sirih untuk Meningkatkan Daya Simpan dan Nilai Jual Ikan Nelayan Kecil

Julkarnain Ahmad^{1*}, Nasir Haya¹, Hardin¹

¹Program Studi D3 Teknologi Penangkapan Ikan, Universitas Nurul Hasan Bacan, Indonesia

*Corresponding author : julkarnain.ahmad7@gmail.com

Article History:

Received : 14-07-2026

Accepted : 31-07-2026

Keywords: Coolbox; Phase Change Material; Daun Sirih; Daya Simpan Ikan; Nelayan Kecil; Nilai Jual

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan inovasi coolbox berbasis *Phase Change Material* (PCM) gel yang memanfaatkan ekstrak daun sirih untuk meningkatkan daya simpan dan nilai jual ikan segar bagi nelayan kecil. Pendekatan metodologis yang diadopsi dalam studi ini mencakup perancangan formulasi *Phase Change Material* (PCM) gel dengan suplementasi ekstrak daun sirih pada beragam konsentrasi, karakterisasi mendalam terhadap properti termal dan fisik dari PCM gel yang dihasilkan, serta evaluasi kinerja coolbox dalam mempertahankan suhu rendah dan integritas kualitas ikan selama periode penyimpanan. Temuan penelitian menunjukkan bahwa suplementasi ekstrak daun sirih pada konsentrasi yang telah dioptimalkan berkontribusi terhadap perpanjangan umur kesegaran ikan dibandingkan dengan metode penyimpanan konvensional. Coolbox Bio-PCM mampu mempertahankan suhu penyimpanan yang lebih rendah sehingga kualitas organoleptik ikan tetap terjaga selama periode penyimpanan. Inovasi ini tidak hanya memberikan kontribusi positif terhadap mitigasi kehilangan pascapanen ikan, namun juga berpotensi untuk meningkatkan profil pendapatan para nelayan kecil melalui apresiasi kualitas dan nilai ekonomis produk perikanan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengembangan coolbox berbasis PCM gel dari ekstrak daun sirih merepresentasikan sebuah solusi yang berkelanjutan dan efektif dalam mengatasi tantangan yang dihadapi dalam penyimpanan hasil tangkapan nelayan.

PENDAHULUAN

Sektor perikanan tangkap di Indonesia memegang peranan krusial dalam perekonomian nasional dan menjadi sumber mata pencaharian utama bagi jutaan masyarakat pesisir, khususnya nelayan kecil. Namun, eksistensi mereka sering kali dibayangi oleh berbagai tantangan fundamental yang menghambat potensi pendapatan dan kesejahteraan. Salah satu isu paling mendesak adalah rendahnya kualitas dan daya simpan ikan segar pasca-penangkapan, yang berdampak langsung pada nilai jual dan menyebabkan kerugian ekonomi signifikan bagi para nelayan. Ketiadaan akses terhadap fasilitas pendinginan yang memadai dan terjangkau di tingkat produsen menjadi akar masalah utama, di mana banyak hasil tangkapan mengalami penurunan kualitas drastis dalam hitungan jam setelah naik ke darat. Data empiris menunjukkan bahwa fenomena ini tidak hanya mengurangi potensi keuntungan nelayan, tetapi juga membatasi peluang mereka untuk memasuki pasar dengan nilai jual yang lebih tinggi, menciptakan lingkaran kerentanan ekonomi yang berkelanjutan.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengidentifikasi tantangan dalam rantai pasok perikanan, termasuk isu-isu terkait manajemen rantai dingin yang terputus, kurangnya kontrol

kualitas, serta infrastruktur yang tidak memadai di daerah pesisir. Keterbatasan penyimpanan dingin, terutama saat hasil tangkapan melimpah, secara langsung menurunkan kualitas dan nilai ekonomis produk perikanan, memperparah disparitas keuntungan yang sering kali diterima oleh nelayan kecil dibandingkan dengan para pedagang perantara. Selain itu, nelayan kecil kerap dihadapkan pada keterbatasan modal dan akses pasar yang sempit, yang secara kolektif menghambat kemampuan mereka untuk berinvestasi dalam teknologi yang dapat meningkatkan nilai produk mereka. Meskipun teknik pengawetan tradisional masih dipraktikkan, tuntutan pasar modern dan kesadaran konsumen akan keamanan pangan menuntut inovasi yang lebih efektif dan efisien.

Untuk mengatasi kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan inovasi coolbox Bio-PCM gel berbasis daun sirih. Daun sirih (*Piper betle* L.) dikenal luas di Indonesia memiliki kandungan senyawa bioaktif seperti flavonoid dan minyak atsiri yang berpotensi sebagai agen antimikroba dan antioksidan alami, menjadikannya kandidat material pengawet yang menjanjikan. Kombinasi sifat termal dari *Phase Change Material* (PCM) yang mampu menyerap dan melepaskan panas laten pada suhu yang relatif stabil, dengan aktivitas biologis daun sirih, diharapkan dapat menciptakan solusi pendinginan pasif yang efektif untuk memperpanjang daya simpan ikan segar. Sinergi antara kedua komponen ini berpotensi menghambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan mencegah oksidasi lipid pada ikan, sehingga menjaga kesegarannya lebih lama.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengembangkan formulasi coolbox Bio-PCM gel berbasis daun sirih dan mengevaluasi efektivitasnya dalam memperpanjang daya simpan ikan segar dibandingkan metode konvensional; dan (2) Menganalisis dampak ekonomi dari implementasi teknologi ini terhadap peningkatan nilai jual ikan yang dihasilkan oleh nelayan kecil. Dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan kunci tersebut, studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis yang signifikan dalam upaya meningkatkan kesejahteraan nelayan kecil melalui inovasi teknologi pengawetan pangan yang berkelanjutan dan memanfaatkan sumber daya lokal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain konvergen (*convergent mixed methods*), yaitu menggabungkan pengumpulan data kuantitatif dan kualitatif secara bersamaan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai efektivitas penggunaan coolbox Bio-PCM gel berbasis daun sirih dalam meningkatkan daya simpan dan nilai jual ikan nelayan kecil. Pendekatan ini dipilih karena tidak hanya mengevaluasi kinerja teknis inovasi melalui pengukuran suhu dan kualitas ikan, tetapi juga mengkaji pengalaman serta persepsi pengguna terhadap penerapan teknologi tersebut.

Penelitian dilaksanakan pada kelompok nelayan kecil di wilayah penelitian selama periode penelitian yang telah ditentukan. Objek penelitian berupa prototipe coolbox Bio-PCM gel berbasis ekstrak daun sirih yang dibandingkan dengan coolbox konvensional menggunakan media pendingin es batu. Pengujian dilakukan menggunakan jenis ikan yang sama dengan kondisi awal yang seragam sehingga perbedaan hasil pengamatan lebih dipengaruhi oleh perlakuan penyimpanan.

Tahap penelitian meliputi: (1) perancangan dan pembuatan prototipe coolbox Bio-PCM gel berbasis daun sirih; (2) pengujian kinerja pendinginan dengan membandingkan suhu

internal coolbox Bio-PCM dan coolbox konvensional; (3) pengamatan kualitas ikan selama penyimpanan; (4) wawancara mendalam dengan nelayan pengguna; dan (5) integrasi hasil kuantitatif dan kualitatif untuk memperoleh kesimpulan penelitian.

Data kuantitatif diperoleh melalui pengukuran suhu internal coolbox menggunakan termometer digital pada interval waktu 6, 12, 18, dan 24 jam. Selain itu, kualitas ikan dievaluasi menggunakan uji organoleptik yang meliputi penampilan, warna, bau, tekstur, dan kondisi keseluruhan dengan skala penilaian 1–5, di mana skor 5 menunjukkan kondisi sangat segar dan skor 1 menunjukkan kondisi tidak layak. Seluruh hasil pengamatan dicatat dalam lembar observasi yang telah disiapkan.

Data kualitatif diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur dengan nelayan pengguna coolbox Bio-PCM dan observasi selama penggunaan alat di lapangan. Wawancara bertujuan menggali persepsi nelayan mengenai kemudahan penggunaan, kemampuan coolbox dalam mempertahankan kesegaran ikan, perubahan pola penjualan, serta potensi peningkatan nilai jual hasil tangkapan. Observasi dilakukan untuk melihat secara langsung proses penggunaan coolbox serta respons pengguna terhadap inovasi yang dikembangkan.

Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif menggunakan nilai rata-rata, standar deviasi, tabel, dan grafik untuk membandingkan suhu penyimpanan serta skor organoleptik antara coolbox Bio-PCM dan coolbox konvensional. Sementara itu, data kualitatif dianalisis menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña yang meliputi kondensasi data, penyajian data, serta penarikan dan verifikasi kesimpulan. Hasil analisis kuantitatif dan kualitatif kemudian diintegrasikan pada tahap interpretasi untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai efektivitas inovasi coolbox Bio-PCM gel berbasis daun sirih dalam mendukung peningkatan mutu dan nilai jual ikan hasil tangkapan nelayan kecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kinerja Prototipe Coolbox Bio-PCM Gel Daun Sirih

Penelitian ini diawali dengan perancangan dan pembuatan prototipe coolbox yang mengintegrasikan *Phase Change Material* (PCM) gel berbasis ekstrak daun sirih. Pengujian kinerja prototipe dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas pendinginan dan stabilitas suhu internal dibandingkan dengan coolbox konvensional yang hanya menggunakan es batu. Hasil pengukuran suhu internal coolbox Bio-PCM gel menunjukkan kemampuan yang superior dalam mempertahankan suhu rendah dalam rentang waktu yang lebih lama. Data rata-rata suhu selama periode pengujian 24 jam menunjukkan bahwa coolbox inovatif mampu menjaga suhu rata-rata 2.5°C, sementara coolbox konvensional mengalami kenaikan suhu rata-rata menjadi 7.8°C setelah 12 jam pertama.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa coolbox Bio-PCM mampu mempertahankan suhu internal yang lebih rendah dibandingkan coolbox konvensional selama periode pengamatan. Rata-rata suhu pada coolbox Bio-PCM sebesar 2,5°C, sedangkan pada coolbox konvensional mencapai 7,8°C. Perbedaan suhu tersebut menunjukkan bahwa penggunaan Bio-PCM mampu memperlambat kenaikan suhu di dalam coolbox sehingga kondisi penyimpanan ikan tetap berada pada kisaran suhu yang lebih rendah. Kemampuan mempertahankan suhu ini berpotensi mendukung terjaganya kesegaran ikan selama penyimpanan, sebagaimana tercermin dari hasil penilaian organoleptik yang menunjukkan skor kesegaran lebih tinggi dibandingkan penyimpanan menggunakan coolbox konvensional.

Tabel 1. Perbandingan Suhu Rata-Rata Internal Coolbox (24 Jam)

Jenis Coolbox	Suhu Rata-Rata (°C)	Standar Deviasi
Coolbox Bio-PCM Gel Daun Sirih	2.5	0.8
Coolbox Konvensional (Es Batu)	7.8	1.5

Tabel 1 menyajikan ringkasan data suhu rata-rata internal coolbox. Hasil ini secara kuantitatif menunjukkan keunggulan prototipe inovatif dalam menjaga kondisi suhu yang optimal untuk penyimpanan ikan segar.

Hasil Survei Daya Simpan Ikan Dan Persepsi Awal Nelayan

Tahap selanjutnya melibatkan survei kepada sejumlah nelayan terpilih untuk menguji daya simpan ikan segar menggunakan coolbox Bio-PCM gel daun sirih dibandingkan dengan metode penyimpanan konvensional yang umum mereka gunakan. Ikan segar dari jenis yang sama ditempatkan dalam kedua jenis coolbox dan dievaluasi kesegarannya pada interval waktu tertentu (misalnya, 6, 12, 18, dan 24 jam). Penilaian kesegaran ikan mencakup parameter organoleptik (penampilan, bau, tekstur).

Hasil Wawancara Mendalam dan Observasi Partisipatif

Data kualitatif dikumpulkan melalui wawancara mendalam dengan nelayan pengguna prototipe, pedagang ikan, dan tokoh masyarakat. Wawancara ini bertujuan untuk menggali pengalaman mereka secara rinci mengenai penggunaan coolbox Bio-PCM gel daun sirih, persepsi terhadap perubahan kualitas ikan, proses penjualan, dan potensi dampak ekonominya. Observasi partisipatif dilakukan untuk mengamati langsung bagaimana nelayan berinteraksi dengan prototipe di lapangan.

Salah seorang nelayan, Bapak Ahmad (45 tahun), menyampaikan, "Sebelumnya, ikan cepat sekali berubah warna dan bau kalau tidak segera dijual. Pakai coolbox baru ini, ikan tetap segar sampai sore, bahkan sampai besok pagi masih layak jual. Ini sangat membantu saya." Pengalaman serupa diungkapkan oleh Ibu Siti (50 tahun), seorang pedagang ikan. Beliau menyatakan, "Ikan dari nelayan yang pakai coolbox baru ini kualitasnya jauh lebih bagus. Tidak banyak yang *reject*. Harganya pun bisa kami tawar sedikit lebih tinggi karena kami yakin ikannya masih segar."

Temuan tematik dari wawancara mencakup:

1. Peningkatan Kepercayaan Diri Nelayan: Penggunaan coolbox Bio-PCM gel memberikan rasa percaya diri kepada nelayan untuk menawarkan hasil tangkapannya di pasar yang lebih luas.
2. Perubahan Pola Penjualan: Nelayan tidak lagi terburu-buru menjual hasil tangkapannya dengan harga rendah karena adanya jaminan daya simpan yang lebih baik.
3. Persepsi Kualitas yang Meningkat: Pedagang dan konsumen mulai melihat ikan dari nelayan pengguna Inovasi ini sebagai Produk berkualitas tinggi.
4. Observasi Partisipatif menunjukkan bahwa nelayan dengan cepat beradaptasi dalam menggunakan cool box baru ini.

Tabel 2. Skor Kesegaran Ikan Pada Interval Waktu Tertentu (Skala 1-5, 5 = Sangat Segar)

Interval Waktu (Jam)	Coolbox Bio-PCM Gel	Coolbox Konvensional
6	4.8	4.7
12	4.5	3.9
18	4.2	2.8

Interval Waktu (Jam)	Coolbox Bio-PCM Gel	Coolbox Konvensional
24	3.5	1.9

Tabel 2 mengilustrasikan tren penurunan skor kesegaran ikan. Perbedaan yang mencolok terlihat pada interval waktu yang lebih lama, menunjukkan efektivitas coolbox Bio-PCM gel daun sirih dalam memperpanjang daya simpan ikan segar. Selain evaluasi daya simpan, survei awal juga mengumpulkan persepsi nelayan terhadap potensi manfaat teknologi ini. Mayoritas nelayan menyatakan ketertarikan terhadap inovasi yang dapat membantu mereka menjual ikan

Integrasi Temuan Kuantitatif dan Kualitatif

Temuan kuantitatif mengenai peningkatan daya simpan ikan yang signifikan secara kuat didukung oleh narasi kualitatif dari nelayan pengguna. Pernyataan Bapak Ahmad mengenai ”ikan tetap segar sampai sore, bahkan sampai besok pagi” secara langsung mengkonfirmasi hasil pengukuran kesegaran ikan yang menunjukkan peningkatan daya simpan hingga 18 jam. Hal ini menunjukkan konvergensi yang kuat antara data objektif dan pengalaman subyektif pengguna.

Meskipun demikian, terdapat area di mana temuan kualitatif memberikan konteks tambahan yang tidak sepenuhnya tercakup dalam data kuantitatif. Misalnya, dalam hal persepsi nilai jual, data kuantitatif dari survei awal mungkin hanya mencakup potensi, sementara wawancara mendalam mengungkapkan bagaimana nelayan secara praktis mulai menerapkan strategi penjualan yang berbeda dan negosiasi harga yang lebih baik, yang menunjukkan bahwa manfaat ekonomi dapat terwujud bahkan sebelum adopsi skala penuh.

Efektivitas Coolbox Bio-PCM Gel Berbasis Daun Sirih dalam Mempertahankan Kesegaran Ikan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan coolbox Bio-PCM gel berbasis daun sirih mampu mempertahankan suhu penyimpanan lebih rendah dibandingkan coolbox konvensional selama periode pengamatan. Coolbox Bio-PCM mempertahankan suhu rata-rata sebesar 2,5°C, sedangkan coolbox konvensional mencapai suhu rata-rata 7,8°C. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan *Phase Change Material* (PCM) memberikan kemampuan penyimpanan energi dingin yang lebih baik sehingga fluktuasi suhu di dalam coolbox dapat diminimalkan. Stabilitas suhu merupakan faktor utama dalam mempertahankan mutu ikan segar karena aktivitas enzim dan pertumbuhan mikroorganisme pembusuk akan berlangsung lebih lambat pada suhu rendah.

Temuan tersebut sejalan dengan penelitian mengenai pemanfaatan PCM pada sistem rantai dingin produk perikanan yang menjelaskan bahwa material penyimpan energi laten mampu menyerap dan melepaskan energi panas secara bertahap sehingga suhu penyimpanan tetap stabil dalam waktu yang lebih lama dibandingkan penggunaan es konvensional. Stabilitas suhu tersebut menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga mutu ikan selama proses distribusi dan penyimpanan (*Research Progress of Phase Change Cold Energy Storage Materials Used in Cold Chain Logistics of Aquatic Products*, 2023). Penelitian Hakim et al. (2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan PCM pada penyimpanan produk perikanan mampu meningkatkan efisiensi pendinginan serta mengurangi perubahan kualitas produk akibat fluktuasi suhu selama proses penyimpanan.

Kemampuan Bio-PCM dalam mempertahankan suhu rendah tercermin pada hasil pengamatan organoleptik. Skor kesegaran ikan yang disimpan menggunakan Bio-PCM masih

berada pada kategori baik hingga 24 jam penyimpanan, sedangkan pada coolbox konvensional terjadi penurunan kualitas yang lebih cepat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa suhu penyimpanan yang lebih stabil mampu memperlambat proses autolisis dan aktivitas mikroorganisme yang menyebabkan penurunan mutu ikan. Dengan demikian, penggunaan Bio-PCM tidak hanya berfungsi sebagai media pendingin, tetapi juga berkontribusi dalam mempertahankan karakteristik fisik ikan selama penyimpanan.

Selain dipengaruhi oleh kemampuan PCM dalam menyimpan energi dingin, penggunaan ekstrak daun sirih diperkirakan turut memberikan kontribusi terhadap terjaganya kualitas ikan. Daun sirih (*Piper betle* L.) diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti fenol, flavonoid, eugenol, chavicol, dan hidroksikavikol yang memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan. Senyawa-senyawa tersebut berpotensi menghambat pertumbuhan bakteri pembusuk sehingga dapat membantu mempertahankan mutu bahan pangan selama penyimpanan (Bouarab-Chibane et al., 2019; Nayaka et al., 2021).

Hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian Mohamed et al. (2021) yang melaporkan bahwa ekstrak daun sirih mampu memperpanjang umur simpan *fillet* ikan nila melalui penghambatan pertumbuhan mikroorganisme serta mempertahankan karakteristik sensoris produk. Demikian pula, Radhalakshmi et al. (2023) menunjukkan bahwa penambahan ekstrak daun sirih pada kemasan aktif berbasis biopolimer mampu menjaga kualitas daging tuna lebih lama dibandingkan kemasan tanpa ekstrak daun sirih. Walaupun penelitian ini tidak secara langsung mengukur aktivitas antimikroba maupun jumlah mikroorganisme, hasil pengamatan organoleptik yang lebih baik pada coolbox Bio-PCM mengindikasikan bahwa kombinasi efek pendinginan dan kandungan bioaktif daun sirih berpotensi memperlambat penurunan mutu ikan selama penyimpanan.

Dari aspek teknologi rantai dingin, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penggunaan Bio-PCM merupakan alternatif yang menjanjikan bagi nelayan skala kecil. Salah satu permasalahan utama pada rantai pasok perikanan adalah ketidakstabilan suhu selama proses penyimpanan dan distribusi yang menyebabkan tingginya kehilangan hasil pascapanen. Penggunaan PCM sebagai media penyimpan energi dingin dinilai lebih efisien dibandingkan es konvensional karena mampu mempertahankan suhu rendah lebih lama tanpa memerlukan penambahan es secara terus-menerus (Wibowo et al., 2024). Oleh karena itu, inovasi Bio-PCM berpotensi menjadi solusi sederhana yang dapat diterapkan pada kegiatan penangkapan ikan skala kecil.

Dampak Penggunaan Bio-PCM terhadap Nilai Jual Ikan Nelayan

Selain mempertahankan mutu ikan, penggunaan coolbox Bio-PCM juga memberikan dampak positif terhadap aspek ekonomi nelayan. Berdasarkan hasil wawancara, nelayan menyatakan bahwa ikan tetap berada dalam kondisi layak jual hingga keesokan harinya sehingga mereka tidak lagi terburu-buru menjual hasil tangkapan dengan harga rendah. Kondisi tersebut memberikan fleksibilitas waktu dalam menentukan lokasi dan waktu penjualan sehingga peluang memperoleh harga yang lebih baik menjadi semakin besar.

Temuan ini selaras dengan konsep rantai dingin pada sektor perikanan yang menyatakan bahwa peningkatan kualitas produk selama penyimpanan akan meningkatkan daya saing dan nilai ekonomi hasil tangkapan. Menurut Stacey et al. (2021), keterbatasan fasilitas penyimpanan dingin masih menjadi salah satu penyebab rendahnya pendapatan nelayan kecil di Indonesia karena kualitas ikan cepat menurun sebelum mencapai konsumen. Dengan adanya

teknologi penyimpanan yang mampu mempertahankan mutu produk lebih lama, nelayan memiliki kesempatan untuk menjangkau pasar yang lebih luas dan memperoleh harga jual yang lebih kompetitif.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan Shawyer dan Pizzali (2003) yang menjelaskan bahwa sistem pendinginan yang efektif merupakan faktor penting dalam mengurangi kehilangan hasil pascapanen ikan dan meningkatkan nilai ekonomi produk perikanan. Semakin baik mutu ikan yang dipertahankan selama distribusi, semakin tinggi pula peluang produk diterima oleh pasar dengan harga yang lebih baik. Oleh karena itu, penerapan Bio-PCM tidak hanya memberikan manfaat teknis berupa peningkatan kualitas penyimpanan, tetapi juga berpotensi meningkatkan kesejahteraan nelayan melalui peningkatan nilai jual hasil tangkapan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa inovasi coolbox Bio-PCM gel berbasis daun sirih merupakan teknologi yang memiliki prospek baik untuk diterapkan pada usaha perikanan skala kecil. Kombinasi kemampuan PCM dalam menjaga stabilitas suhu dengan potensi senyawa bioaktif daun sirih memberikan keuntungan dalam mempertahankan mutu ikan selama penyimpanan. Kondisi tersebut tidak hanya mendukung pengurangan kehilangan hasil pascapanen, tetapi juga membuka peluang peningkatan daya saing produk perikanan dan pendapatan nelayan. Ke depan, penelitian lanjutan masih diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas Bio-PCM pada berbagai jenis ikan, durasi penyimpanan yang lebih panjang, serta analisis kelayakan ekonomi sehingga teknologi ini dapat diimplementasikan secara lebih luas pada sektor perikanan tangkap.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa inovasi coolbox Bio-PCM gel berbasis ekstrak daun sirih memiliki potensi sebagai teknologi penyimpanan dingin yang efektif untuk mendukung aktivitas nelayan kecil dalam menjaga mutu hasil tangkapan. Berdasarkan hasil pengujian, coolbox Bio-PCM mampu mempertahankan suhu penyimpanan lebih rendah dibandingkan coolbox konvensional selama periode pengamatan, sehingga kondisi tersebut berkontribusi terhadap terjaganya kualitas organoleptik ikan hingga akhir masa penyimpanan. Hasil wawancara dan observasi juga memperlihatkan bahwa penggunaan coolbox Bio-PCM memberikan manfaat praktis bagi nelayan, antara lain meningkatkan fleksibilitas waktu penjualan, mengurangi risiko penurunan mutu ikan, serta membuka peluang memperoleh harga jual yang lebih baik. Dengan demikian, penerapan coolbox Bio-PCM gel berbasis daun sirih berpotensi menjadi alternatif teknologi penyimpanan yang sederhana, ramah lingkungan, dan aplikatif untuk mendukung pengurangan kehilangan hasil pascapanen serta meningkatkan daya saing produk perikanan skala kecil. Meskipun demikian, penelitian lanjutan masih diperlukan untuk menguji kinerja teknologi ini pada berbagai jenis ikan, durasi penyimpanan yang lebih panjang, serta mengevaluasi aspek teknis dan ekonominya secara lebih komprehensif agar implementasinya dapat dilakukan secara lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bouarab-Chibane, L., Degraeve, P., Ferhout, H., Bouajila, J., & Oulahal, N. (2019). Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1457–1474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9357>

- [2] Bourke, P., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P. J., & Keener, K. (2018). The potential of cold plasma for safe and sustainable food production. *Trends in Biotechnology*, 36(6), 615–626. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.11.001>
- [3] Chanioti, S., Giannoglou, M., Stergiou, P., Passaras, D., Dimitrakellis, P., Gogolides, E., & Katsaros, G. (2023). Cold-atmospheric-plasma activated-ice as a cooling medium with antimicrobial properties: Case study on fish fillet preservation. *Food Control*, 167, 112639. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.112639>
- [4] Feng, T., Ji, J., Zhang, X., Zhang, C., & Zhou, G. (2023). Research progress of phase change cold energy storage materials used in cold chain logistics of aquatic products. *Journal of Energy Storage*, 60, Article 106568. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106568>
- [5] Hakim, A. R., Fauzi, A., & Pranoto, I. (2022). Phase change material-assisted freezing of tuna: Impact on freezing process and thawing loss. *Journal of Food Process Engineering*, 45(4), e14011. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14011>
- [6] Mohamed, T., Benjakul, S., & Zhang, B. (2021). Use of betel leaf (*Piper betle* L.) ethanolic extract in combination with modified atmospheric packaging and nonthermal plasma for shelf-life extension of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets. *Journal of Food Science*, 86(12), 5226–5239. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15960>
- [7] Nayaka, N. M. D. M. W., Sasadara, M. M. V., Sanjaya, D. A., Yuda, P. E. S. K., Dewi, N. L. K. A. A., Cahyaningsih, E., & Hartati, R. (2021). Piper betle (L): Recent review of antibacterial and antifungal properties, safety profiles, and commercial applications. *Molecules*, 26(8), 2321. <https://doi.org/10.3390/molecules26082321>
- [8] Radhalakshmi, V., Raman, M., & Joy, M. R. (2023). Development of active packaging film based on poly(lactic acid) incorporated with Piper betel leaf ethanolic extract and its application in the shelf-life extension of tuna meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246, 125751. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125751>
- [9] Risano, A. Y. E., Eriyadi, R., Irsyad, M., Sukmana, I., Sugiri, A., Saputra, R. A., & Wahyudi, H. (2025). Development of a sodium chloride (NaCl) eutectic phase change material for fish cold storage applications. *Jurnal Polimesin*, 23(2).
- [10] Shawyer, M., & Pizzali, A. F. M. (2003). *The use of ice on small fishing vessels*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *FAO Fisheries Technical Paper No. 436*.
- [11] Stacey, N., Gibson, E., Loneragan, N. R., Warren, C., Wiryawan, B., Adhuri, D. S., Steenbergen, D. J., & Fitriana, R. (2021). Developing sustainable small-scale fisheries livelihoods in Indonesia: Trends, enabling and constraining factors, and future opportunities. *Marine Policy*, 132, Article 104654. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104654>
- [12] Wibowo, R. B. T. J., Marimin, Machfud, Anggraeni, E., & Taryono. (2024). Sustainable cold supply chain management of tuna agroindustry: A literature review and future research: Manajemen rantai pasok dingin berkelanjutan pada agroindustri tuna: Tinjauan literatur dan penelitian masa depan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(9), 847–871. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v27i9.54575>