

DAMPAK PEMBANGUNAN FASILITAS *COLD STORAGE* BERTENAGA SURYA TERHADAP TEKNOLOGI, RANTAI PASOK DAN KONDISI EKONOMI MASYARAKAT PESISIR

**Hadi Rudiya^{1*}, Mohammad Cipto Sugiono², Rezki Aulia³,
Muhammad Hafif Yadi⁴, dan Agus Wiranto⁵**

¹Jurusan Desain, Politeknik Negeri Media Kreatif, Jl. Srengseng Sawah No.17, Jagakarsa, Jakarta Selatan-Jakarta, 12630

²Jurusan Teknologi Industri, Politeknik Negeri Media Kreatif, Jl. Srengseng Sawah No.17, Jagakarsa, Jakarta Selatan-Jakarta, 12630

³Jurusan Komunikasi, Politeknik Negeri Media Kreatif, Jl. Srengseng Sawah No.17, Jagakarsa, Jakarta Selatan-Jakarta, 12630

⁴Jurusan Pariwisata, Politeknik Negeri Media Kreatif, Jl. Srengseng Sawah No.17, Jagakarsa, Jakarta Selatan-Jakarta, 12630

⁵Jurusan Desain, Politeknik Negeri Media Kreatif, Jl. Srengseng Sawah No.17, Jagakarsa, Jakarta Selatan-Jakarta, 12630

*Correspondence: hadi.rudiya@polimedia.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji, memetakan, serta mengevaluasi secara komprehensif dampak nyata dari masifikasi pembangunan fasilitas cold storage bertenaga surya terhadap efisiensi rantai pasok perikanan dan peningkatan kondisi ekonomi-kesejahteraan masyarakat pesisir secara berkelanjutan. Desain/metode/pendekatan yang digunakan dalam studi ini adalah metode Systematic Literature Review (SLR) dengan mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menyintesis literatur-literatur relevan yang bersumber dari basis data akademik elektronik Google Scholar. Temuan/hasil tinjauan menunjukkan bahwa integrasi energi surya sangat andal secara teknis serta layak secara finansial karena mampu menekan biaya energi secara signifikan dengan masa pengembalian modal yang cepat. Namun, hasil analisis mengungkap adanya paradoks logistik berupa rendahnya tingkat utilitas fasilitas saat ini yang rata-rata hanya mencapai 46% (di bawah standar ideal 70%–85%) akibat lemahnya koordinasi distribusi, ketidakpastian pasokan bahan baku, dan dominasi swasta komersial yang menutup akses nelayan kecil. Sebagai solusi tata kelola, penerapan model kepemilikan aset berbasis komunitas (community-based ownership) melalui koperasi atau paguyuban desa terbukti paling efektif karena dapat menekan biaya sewa hingga 10% lebih murah. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa infrastruktur rantai dingin mandiri energi ini tidak hanya memberikan efek pengganda ekonomi (multiplier effect) melalui penciptaan lapangan kerja baru dan peningkatan pendapatan rumah tangga, melainkan juga bertindak sebagai instrumen adaptasi iklim yang krusial bagi resiliensi nelayan skala kecil.

Kata Kunci : Adaptasi Iklim, Cold Storage, Energi Surya, Masyarakat Pesisir, Rantai Pasok.

THE IMPACT OF SOLAR-POWERED COLD STORAGE FACILITIES ON THE TECHNOLOGY, SUPPLY CHAIN AND ECONOMIC CONDITIONS OF COASTAL COMMUNITIES

Abstract

The objective of this study is to comprehensively examine, map, and evaluate the actual impact of the widespread construction of solar-powered cold storage facilities on the efficiency of the fisheries supply chain and the sustainable improvement of the economic conditions and well-being of coastal communities. The design, methods, and approach used in this study involve a Systematic Literature Review (SLR), which involves identifying, evaluating, and synthesizing relevant literature sourced from the Google Scholar electronic academic database. The findings of the review indicate that the integration of solar energy is technically reliable and financially viable, as it significantly reduces energy costs with a rapid return on investment. However, the analysis revealed a logistical paradox: the current low facility utilization rate, averaging only 46% (below the ideal standard of 70%–85%), due to weak distribution coordination, uncertainty in raw material supply, and the dominance of commercial private entities that restrict access for small-scale fishermen. As a governance solution, the implementation of a community-based asset ownership model through cooperatives or village associations has proven to be the most effective, as it can reduce rental costs by up to 10%. The conclusion of this study confirms that this energy-independent cold chain infrastructure not only provides an economic multiplier effect through the creation of jobs

Keywords: *Climate Adaptation, Cold Storage, Solar Energy, Coastal Communities, Supply Chain.*

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara maritim terbesar di dunia dengan bentangan garis pantai yang sangat panjang dan potensi sumber daya perikanan yang melimpah. Sektor perikanan memegang peranan strategis dalam pembangunan dan perekonomian nasional, mulai dari penyediaan lapangan kerja, diversifikasi mata pencaharian, penyediaan pasokan protein hewani masyarakat, hingga sumbangsih terhadap pendapatan devisa negara melalui kegiatan ekspor (Thalib dkk., 2021). Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar pelaku utama di sektor ini adalah nelayan skala kecil yang berdomisili di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. Kelompok nelayan tradisional ini seringkali masuk dalam kategori

masyarakat dengan tingkat kesejahteraan yang masih rendah dan memiliki kerentanan yang tinggi terhadap berbagai guncangan ekonomi serta dampak perubahan iklim (Kasri dkk., 2024).

Salah satu kendala dan masalah paling mendasar yang dihadapi oleh nelayan skala kecil dalam industri perikanan adalah sifat dasar dari ikan dan produk biologi laut lainnya yang sangat cepat mengalami proses pembusukan (*highly perishable*). Tanpa adanya penanganan pascapanen yang memadai dan cepat, penurunan mutu daging ikan akan terjadi secara drastis akibat aktivitas bakteriologi dan reaksi enzimatik. Di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia dan wilayah tropis lainnya, angka kerugian pascapanen akibat pembusukan produk perikanan ini sangat memprihatinkan,

diperkirakan mencapai 30% hingga 40% dari total tangkapan keseluruhan (Hossain & Talukdar, 2019). Kerugian ini tidak hanya berdampak negatif pada terbuangnya sumber daya pangan yang sangat berharga di tengah ancaman krisis ketahanan pangan, tetapi juga memukul telak kondisi perekonomian para nelayan. Ikan yang mengalami penurunan kesegaran akan mengalami kemerosotan harga jual secara tajam di pasar, bahkan bisa jatuh hingga setengah dari harga normalnya atau diolah menjadi produk dengan nilai ekonomi yang sangat rendah (Setiawan dkk., 2024).

Sebagai upaya strategis untuk mengatasi tingginya angka pembusukan dan demi menjaga kualitas hasil tangkapan tersebut, ketersediaan fasilitas sistem rantai dingin (*cold chain*) yang andal, khususnya fasilitas penyimpanan dingin (*cold storage*), menjadi sebuah syarat mutlak. Fasilitas *cold storage* memiliki peran yang sangat krusial sebagai pusat pengumpulan dan penampungan sementara (*collection center*) dari hasil tangkapan nelayan yang mampu secara efektif mempertahankan kesegaran, memperpanjang masa simpan, dan menekan pertumbuhan bakteri pada komoditas perikanan (Rasta dkk., 2018). Lebih jauh lagi, fasilitas pendingin ini bertindak sebagai penyangga pasokan rantai pasok perikanan dan stabilisator harga pasar di suatu daerah. Sistem ini memungkinkan para nelayan untuk mengamankan dan membekukan produksi ikan yang melimpah ruah pada saat musim panen tiba, untuk kemudian didistribusikan secara bertahap pada saat musim paceklik, sehingga fluktuasi harga yang tajam dan merugikan nelayan dapat dicegah dengan baik (Mardjudo & Asrawaty, 2019). Dengan tata kelola rantai pasok dan infrastruktur yang terintegrasi, produk perikanan dapat didistribusikan lebih jauh melintasi batas daerah maupun untuk memenuhi

spesifikasi pasar ekspor internasional (Wulandari & Warningsih, 2022). Sayangnya, penyediaan infrastruktur ini belum merata. Dalam beberapa kasus, terjadi paradoks di mana sebuah wilayah yang memiliki surplus ikan tinggi justru mencatatkan *utilitas cold storage* yang sangat rendah (rata-rata tingkat okupansi di bawah 50%) akibat dominasi perusahaan swasta besar sehingga fasilitas ini sulit diakses oleh nelayan-nelayan kecil (Riadi dkk., 2025).

Kendala utama dalam pengadaan infrastruktur *cold storage* di berbagai wilayah pesisir dan kepulauan adalah tingginya beban konsumsi energi listrik. Industri pengolahan ikan, terutama pada tahapan pendinginan dan pembekuan, dikenal sebagai industri padat energi atau *energy-intensive* (Thalib et al., 2021). Kondisi geografis komunitas nelayan, pulau-pulau terpencil, serta sentra pendaratan ikan di berbagai wilayah Indonesia seringkali tidak terjangkau oleh jaringan kelistrikan utilitas nasional secara konstan atau berstatus *off-grid*. Di daerah-daerah tersebut, masyarakat hanya menggantungkan ketersediaan energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang beroperasi dalam hitungan jam yang sangat terbatas, membebani biaya tinggi pada pengadaan transportasi bahan bakar, serta menghasilkan emisi gas buang yang membahayakan lingkungan sekitar (Khairunnas dkk., 2023). Minimnya listrik membuat produksi es awetan menjadi sangat terbatas, sehingga nelayan terpaksa bergantung pada metode penyimpanan tradisional dengan kotak es sederhana yang mudah mencair selama pelayaran, yang tentu saja belum mampu mencegah kerusakan ikan secara maksimal (Setiawan et al., 2024).

Menyikapi keterbatasan energi listrik dan membengkaknya biaya operasional tersebut, pemanfaatan sumber Energi Baru Terbarukan (EBT), khususnya

energi surya (solar *photovoltaic*/PV), dipandang sebagai terobosan dan solusi paling rasional serta berkelanjutan. Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa dan memiliki iklim tropis diberkahi dengan iradiasi matahari harian yang melimpah, menjadikannya sangat ideal untuk penerapan pembangkit listrik tenaga surya (Fajry dkk., 2018). Integrasi sistem kelistrikan tenaga surya ke dalam fasilitas cold storage, baik melalui sistem yang terhubung langsung dengan jaringan (on-grid), sistem berdiri sendiri di area terisolir (*off-grid*) menggunakan *battery bank*, maupun melalui sistem hibrida (*hybrid*), telah dibuktikan viabilitasnya. Analisis teknologi mutakhir bahkan menyimpulkan bahwa sistem cold storage terintegrasi panel surya tidak hanya secara efektif menekan jejak emisi karbon dioksida secara dramatis, tetapi juga memiliki kelayakan investasi yang sangat tinggi dengan periode pengembalian modal (*payback period*) yang tergolong singkat bagi pengelolanya (Wardi & Budiyanto, 2025). Perkembangan teknologi solar *photovoltaic* yang semakin modular juga memungkinkan diaplikasikannya teknologi pendingin langsung di atas kapal atau armada perikanan (*on-board processing*). Penggunaan *cool box* atau freezer portabel berbasis surya di atas kapal memungkinkan nelayan untuk langsung melakukan pendinginan secara seketika (*chilling*) sesaat setelah ikan ditarik dari laut, menjadikan pengawetan rantai dingin terjamin sejak dari hulu titik penangkapan (Kuncoro dkk., 2024). Dampak positif dari pembangunan fasilitas cold storage bertenaga surya ini terbukti luas dan transformasional terhadap rantai pasok dan kondisi ekonomi masyarakat pesisir di negara-negara berkembang. Hadirnya fasilitas yang memadai secara langsung memicu efek pengganda ekonomi lokal (*multiplier effect*). Terjaganya kesegaran

tangkapan ikan secara otomatis mengangkat daya tawar nelayan terhadap tengkulak, meningkatkan nilai jual produk, yang bermuara pada bertambahnya angka kesejahteraan dari rumah tangga nelayan. Lebih dari itu, konstruksi serta perputaran kegiatan operasional fasilitas cold storage akan turut menciptakan beragam lapangan kerja baru bagi warga sekitar, misalnya penyerapan tenaga buruh untuk proses penyortiran, penimbangan ikan, manajemen distribusi, hingga administrasi fasilitas (Mardjudo & Asrawaty, 2019). Penciptaan sistem pencaharian yang kuat ini sangat penting dan mendesak bagi komunitas perikanan marginal, yang kini sedang menghadapi ancaman hilangnya pendapatan akibat penyusutan tangkapan imbas dari dampak perubahan iklim dan pemanasan suhu perairan (Kasri et al., 2024)

Dari sisi manajerial tata kelola, literatur membuktikan bahwa skema kepemilikan dan pengelolaan cold storage surya ini juga menjadi determinan penting dalam mengukur distribusi manfaat ekonominya. Fasilitas yang dibangun dengan model berbasis komunitas (*community-based ownership*), misalnya dikelola mandiri oleh koperasi atau paguyuban desa, dilaporkan mampu memangkas harga sewa fasilitas secara lebih efisien dibandingkan dengan skema komersial murni, lantaran adanya insentif dari regulasi pemerintah daerah maupun keringanan beban operasional (Thalib et al., 2021). Penerapan teknologi ini pun berfungsi ganda sebagai sarana edukasi berharga untuk mendiseminasi pemahaman masyarakat akar rumput perihal kemandirian pengadaan es yang memicu transformasi energi hijau secara nyata di pelosok pedesaan (Priyadi & Pujiantara, 2024).

Berdasarkan keseluruhan paparan dari berbagai tinjauan empiris di atas, integrasi teknologi panel surya ke dalam

instalasi penyimpanan dingin (*solar-powered cold storage*) bukan sekadar pemutakhiran infrastruktur keteknikan semata, melainkan merupakan sebuah instrumen intervensi penting untuk membenahi alur rantai pasok dan merevitalisasi pilar-pilar perekonomian komunitas masyarakat pesisir. Beranjak dari signifikansi ini, maka penulisan artikel *Systematic Literature Review* ini bertujuan dan sangat krusial untuk mengkaji, memetakan, serta mengevaluasi lebih dalam secara komprehensif bagaimana dampak nyata dari masifikasi pembangunan fasilitas *cold storage* bertenaga surya terhadap efisiensi rantai pasok perikanan dan peningkatan kondisi ekonomi-kesejahteraan masyarakat pesisir secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menyintesis literatur-literatur yang relevan dengan topik dampak pembangunan fasilitas *cold storage* bertenaga surya terhadap rantai pasok dan kondisi ekonomi masyarakat pesisir. Pelaksanaan SLR ini menganalisis artikel ilmiah yang bersumber dari *Google Scholar*.

Untuk mengarahkan fokus tinjauan literatur, penelitian ini merumuskan tiga Pertanyaan Penelitian utama yang diadaptasi dari masalah kesenjangan infrastruktur perikanan dan adaptasi energi terbarukan, yaitu : (1) Bagaimana efektivitas dan kelayakan teknologi dari implementasi *cold storage* berbasis energi surya di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil?; (2) Bagaimana keberadaan fasilitas *cold storage* memengaruhi efisiensi rantai pasok, manajemen kapasitas, dan stabilitas harga produk perikanan? ; (3) Apa saja dampak

langsung dari infrastruktur *cold storage* bertenaga surya terhadap adaptasi, pemberdayaan, dan peningkatan kondisi ekonomi masyarakat nelayan skala kecil?.

Pencarian literatur dilakukan melalui basis data akademik elektronik. Kata kunci (*keywords*) yang digunakan dikembangkan dari sintesis variabel utama penelitian, antara lain: "*solar-powered cold storage*", "*green refrigeration*", "*fisheries supply chain*", "*techno-economic analysis*", dan "*off-grid photovoltaic*". Pencarian difokuskan pada artikel jurnal, prosiding konferensi, dan laporan penelitian empiris yang mengkaji integrasi energi terbarukan pada sektor pascapanen perikanan, seperti penerapan sistem fotovoltaik (PV) pada pendingin portabel maupun *cold storage* berskala besar (Hossain & Talukdar, 2019).

Pemilihan 15 literatur utama dalam studi ini didasarkan pada kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Data dari ke-15 literatur terpilih diekstraksi ke dalam sebuah matriks sintesis untuk memudahkan analisis. Informasi yang diekstraksi meliputi: nama penulis, tahun publikasi, lokasi studi kasus (misalnya: Kepulauan Kei, Lampung, Padang, Madura, dll.), spesifikasi teknologi pendingin yang digunakan (Rasta et al., 2018), parameter rantai pasok (Wulandari & Warningsih, 2022), serta instrumen analisis finansial dan regulasi (Thalib et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Matriks Ekstraksi Data Literatur

Untuk memudahkan pemetaan dan memberikan gambaran komprehensif terkait karakteristik masing-masing studi yang ditinjau, seluruh rincian hasil ekstraksi data yang meliputi penulis, lokasi, spesifikasi teknologi, dan

ringkasan temuan utama telah dirangkum ke dalam matriks literatur pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Matriks Ekstraksi Data Literatur

No	Penulis & Tahun	Lokasi Studi	Fokus Kajian & Spesifikasi Teknologi	Temuan Utama
1	(Hossain & Talukdar, 2019)	Bangladesh	Pengembangan <i>micro-cold storage</i> portabel bertenaga surya berbasis sistem <i>off-grid</i> .	Suhu fasilitas pendingin mampu turun dari 28°C menjadi 14,5°C dalam 4 jam, dan cadangan baterai mampu bertahan hingga 36 jam.
2	Asia-Pacific Solar Research Conference (2018)	Kepulauan Pasifik	Studi literatur mengenai kerangka kelayakan teknologi <i>photovoltaic</i> (PV) di wilayah terpencil.	Penerapan PV semakin relevan untuk wilayah kepulauan, namun desainnya harus menyeimbangkan manfaat bagi industri serta keberlanjutan ekonomi masyarakat lokal.
3	(Khairunas et al., 2023)	Pulau Aceh, Aceh	Eksperimen <i>cold storage</i> tenaga surya berkapasitas 100 kg untuk di wilayah minim pasokan listrik.	Sistem mencapai suhu -3,1°C yang mampu bertahan 2-3 hari dengan sisa baterai 40%; nilai <i>Coefficient of Performance</i> (COP) aktual sebesar 2,69.
4	(Mehmood dkk., 2024)	Liran, Maluku Barat Daya	Model numerik (TRNSYS) <i>cold storage</i> mandiri (<i>grid-independent</i>) berkapasitas peti kemas 20 kaki.	Konfigurasi optimal dicapai dengan PV 24,5 kW, baterai 151 kWh, dan insulasi poliuretan 150 mm; sistem ini menghemat 23,3 ton

				emisi karbon per tahun.
5	(Kuncoro et al., 2024)	Rembang, Jawa Tengah	Desain sistem PV <i>off-grid</i> langsung di atas kapal penangkap rajungan (<i>on-board processing</i>).	Sistem PV menghasilkan listrik 1.740 kWh/tahun; kelayakan ekonomi terbukti dengan <i>Return on Investment</i> positif pada tahun ke-20 proyek (titik <i>break-even</i>).
6	(Riadi et al., 2025)	Provinsi Lampung	Analisis utilitas (okupansi) dan <i>turnover</i> kapasitas dari 19 perusahaan <i>cold storage</i> perikanan.	Rata-rata okupansi fasilitas sangat rendah yakni hanya 46%, dengan perputaran (<i>turnover</i>) 0,81 siklus/bulan; ini dipicu oleh lemahnya rantai pasok dan hambatan koordinasi distribusi.
7	(Wardi & Budiyanto, 2025)	Cituis (Tangerang), Banten	Desain <i>cold storage</i> tenaga surya 10 ton dengan dua zona suhu (-30°C dan 5°C) menggunakan HOMER Pro.	Kelayakan sangat tinggi dengan masa balik modal (<i>payback period</i>) hanya 0,41 tahun dan dapat mengurangi emisi karbon hingga 16.754 kg/tahun.
8	(Setiawan et al., 2024)	Pesisir DIY & Jawa Tengah	Pembuatan <i>cool box</i> bertenaga surya menggunakan modul <i>thermoelectric</i> (Peltier) dan kejut listrik anti-bakteri.	Panel surya menyuplai 2.527 W/hari (bertahan 10 jam); sistem kontrol suhu sangat efektif mempertahankan kualitas ikan di 0-5°C dan mencegah ikan membeku, serta kejut listrik berhasil membunuh bakteri

				pembusuk.		MC-22,,	(R-22),
9	(Priyadi & Pujiantara, 2024)	Desa Bringsang, Madura	Pemberdayaan nelayan melalui inovasi mesin <i>freezer</i> pembuat es berbasis energi surya 600 Wp.,	Sistem mampu memproduksi hingga 450 liter es per hari secara mandiri untuk pengawetan tangkapan ikan; memberikan edukasi transformasi energi ke nelayan pesisir.			menjadikannya lebih ramah lingkungan.
10	(Wulandari & Warningsih, 2022)	PPS Bungus (Padang), Sumbar	Evaluasi manajemen rantai pasok dan pemasaran ikan yang disimpan di <i>cold storage</i> pelabuhan.	Fasilitas belum dikelola secara maksimal dan tidak memiliki strategi pemasaran khusus; pemasaran masih sangat bergantung pada pasar domestik (agen ke Jakarta).			Investasi ini terbukti menguntungkan secara finansial (NPV Rp20,6 Miliar, <i>Internal Rate of Return</i> 47%, balik modal 8,2 tahun) dan memberi <i>multiplier effect</i> bagi pendapatan masyarakat.
11	(Fajry et al., 2018)	Kepulauan Kei Kecil, Maluku	Analisis teknologi gabungan (hibrida) PV apung laut (<i>floating PV</i>) dan turbin angin.	Desain optimal membutuhkan turbin angin 100 kW dan PV apung 803 kWp; memiliki <i>Levelized Cost of Energy</i> (LCOE) sangat rendah USD 0,52/kWh dengan balik modal 6,56 tahun.			Nelayan beradaptasi secara ekonomi dengan diversifikasi mata pencaharian, memodifikasi teknologi penangkapan, mengubah area operasional laut, dan memperkuat kelompok kerja sama (paguyuban).
12	(Rasta et al., 2018)	Bali	Penerapan teknologi <i>green refrigeration</i> di industri <i>cold storage</i> dengan menukar refrigeran R-22 menjadi hidrokarbon	HC-22 (<i>hydrocarbon</i>) lebih hemat energi dan menghasilkan COP (<i>Coefficient of Performance</i>) lebih besar dibandingkan pendingin konvensional			<i>Cold storage</i> berbasis komunitas mampu menekan harga sewa ke nelayan hingga rata-rata 10% lebih murah; implementasi PV sistem <i>on-grid</i> menghasilkan nilai energi (LCOE) termurah.
13	(Mardjudo & Asrawaty, 2019)	Parigi Moutong, Sulteng				Evaluasi finansial dan dampak ekonomi investasi fasilitas <i>cold storage</i> milik pemerintah daerah.	
14	(Kasri et al., 2024)	Kab. Pangkep, Sulawesi Selatan				Kajian kualitatif mengenai kerentanan dan strategi adaptasi iklim oleh nelayan skala kecil.	
15	(Thalib et al., 2021)	Dadap, Jawa Barat				Optimasi investasi PV surya berdasar dua model kepemilikan: swasta (komersial) vs berbasis komunitas.	

Industri perikanan, terutama pada fase pascapanen yang melibatkan pendinginan dan pembekuan, merupakan sektor yang

sangat padat energi (*energy-intensive*). Pembangunan fasilitas cold storage berbasis energi surya menawarkan solusi komprehensif atas kendala defisit pasokan listrik, terutama di wilayah kepulauan dan pesisir. Analisis teknologi yang menggunakan berbagai metode simulasi tingkat lanjut mengonfirmasi bahwa integrasi sistem photovoltaic (PV) memiliki kelayakan investasi yang luar biasa. Sebagai contoh, simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro untuk cold storage berkapasitas 10 ton di kawasan Cituis, Tangerang, membuktikan bahwa sistem hybrid PV mampu memangkas emisi karbon hingga 16.754 kg per tahun dengan masa pengembalian modal (payback period) yang sangat singkat, yakni hanya 0,41 tahun (Wardi & Budiyanto, 2025). Di wilayah kepulauan lain seperti Liran, Maluku Barat Daya, pemodelan numerik menggunakan TRNSYS untuk cold storage mandiri (grid-independent) berukuran peti kemas 20 kaki menunjukkan bahwa konfigurasi PV sebesar 24,5 kW dan baterai 151 kWh mampu menghemat 23,3 ton emisi karbon per tahun (Mehmood et al., 2024). Lebih jauh lagi, bagi daerah terisolir dengan ketersediaan lahan terbatas seperti Kepulauan Kei, terobosan berupa penggabungan PV apung laut (*floating PV*) dengan turbin angin mampu menekan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) hingga menyentuh angka sangat rendah yaitu USD 0,52/kWh (Fajry et al., 2018). Tingkat efisiensi energi ini menjadi semakin optimal ketika dipadukan dengan adopsi teknologi green refrigeration. Penukaran refrigeran konvensional (R-22) yang merusak ozon dengan refrigeran hidrokarbon (HC-22) terbukti secara termodinamika memberikan nilai *Coefficient of Performance* (COP) yang jauh lebih tinggi dan lebih hemat energi (Rasta et al., 2018). Dari sisi operasional lapangan,

uji coba mesin cold storage 100 kg bertenaga surya di Pulau Aceh membuktikan keandalan sistem dalam mempertahankan suhu ekstrem; ruang pendingin mampu mencapai suhu $-15,9^{\circ}\text{C}$ tanpa beban dan stabil di $-3,1^{\circ}\text{C}$ dengan beban penuh selama sehari-hari (Khairunnas et al., 2023). Hasil serupa juga dilaporkan pada pengembangan micro-cold storage di pedesaan Bangladesh yang suhu ruangnya sukses diturunkan dari 28°C menjadi $-14,5^{\circ}\text{C}$ hanya dalam kurun waktu 4 jam menggunakan energi surya (Hossain & Talukdar, 2019)

Secara fungsional, cold storage berperan vital sebagai pusat pengumpulan (*collection center*) sekaligus penyangga rantai pasok yang mampu menstabilkan harga ikan pada musim panen dan mencegah kerugian pascapanen yang masif (Mardjudo & Asrawaty, 2019). Namun, pengadaan infrastruktur fisik tidak selalu berbanding lurus dengan efektivitas tata kelolanya. Analisis kapasitas dan utilitas di Provinsi Lampung mengungkap sebuah paradoks manajemen logistik; meskipun provinsi tersebut memiliki surplus potensi ikan yang dapat dibekukan hingga 184.987 ton per tahun, ke-19 fasilitas cold storage yang ada di sana rata-rata hanya mencatatkan tingkat okupansi (utilitas) sebesar 46% (Riadi et al., 2025). Angka ini sangat jauh di bawah standar utilitas ideal yang direkomendasikan, yakni sebesar 70% hingga 85%. Lebih lanjut, rasio perputaran stok (turnover ratio) rata-rata hanya 0,81 siklus per bulan, padahal perputaran ideal seharusnya mencapai 6 hingga 12 siklus per tahun untuk menjaga pergerakan margin keuntungan (Riadi et al., 2025).

Rendahnya utilitas fasilitas ini sering kali dipicu oleh ketidakpastian kontinuitas pasokan bahan baku dari nelayan, lemahnya koordinasi pemasaran, serta fakta bahwa sebagian besar fasilitas

dikuasai oleh perusahaan swasta yang hanya memprioritaskan penyimpanan komoditas mereka sendiri, sehingga akses nelayan kecil tertutup rapat (Riadi et al., 2025). Kendala pemasaran yang belum terintegrasi ini juga ditemukan pada evaluasi Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bungus di Padang, di mana agen hanya berfokus pada rantai domestik ke Jakarta tanpa strategi ekspansi pasar yang spesifik (Wulandari & Warningsih, 2022). Untuk memecahkan kebuntuan rantai pasok tersebut, pergeseran paradigma menuju model kepemilikan aset berbasis komunitas (*community-based ownership*) sangat mendesak untuk diterapkan. Literatur membuktikan bahwa fasilitas pendingin bertenaga surya yang dikelola secara komunal oleh paguyuban atau koperasi nelayan mampu memangkas biaya sewa fasilitas hingga rata-rata 10% lebih murah dibandingkan fasilitas komersial milik swasta, yang secara langsung memberikan keringanan beban operasional bagi nelayan kecil (Thalib et al., 2021).

Pada pilar ekonomi, investasi pembangunan infrastruktur pendingin bertenaga surya di wilayah pesisir terbukti secara nyata bermuara pada peningkatan resiliensi dan kesejahteraan masyarakat. Evaluasi investasi cold storage milik pemerintah daerah di Parigi Moutong menunjukkan tingkat kelayakan finansial yang amat menjanjikan, dengan nilai *Net Present Value* (NPV) mencapai Rp20,6 Miliar dan *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 47% (Mardjudo & Asrawaty, 2019)). Sirkulasi modal dan operasional dari fasilitas ini terbukti menciptakan efek pengganda ekonomi (*multiplier effect*) melalui penciptaan lapangan kerja baru, jaminan stabilitas harga jual tangkapan, serta peningkatan standar pendapatan rumah tangga nelayan (Mardjudo & Asrawaty, 2019).

Dari sisi inovasi terapan, fleksibilitas teknologi surya kini memungkinkan

implementasi pendinginan langsung di atas armada penangkapan (*on-board processing*). Evaluasi terhadap sistem photovoltaic mandiri di atas kapal penangkap rajungan di Rembang mengonfirmasi bahwa nelayan dapat menghasilkan listrik hingga 1.740 kWh/tahun dengan *Return on Investment* yang jelas (Kuncoro et al., 2024). Di samping itu, inovasi kotak pendingin (*cool box*) bertenaga surya portabel yang dilengkapi elemen termoelektrik (*Peltier*) dan fitur kejut listrik (*pulsed electric field*) hingga 2.500 volt terbukti efektif membunuh bakteri pembusuk tanpa merusak struktur daging ikan seperti yang sering terjadi pada proses pembekuan es tradisional (Setiawan et al., 2024). Sistem ini mampu menjaga suhu stabil 0-5°C selama 10 jam berlayar (Setiawan et al., 2024). Pemberdayaan serupa juga diterapkan di Desa Bringsang, Madura, di mana inovasi mesin pembuat es bertenaga surya secara komunal mampu memproduksi 450 liter es per hari, memberikan kemandirian sekaligus mengedukasi masyarakat desa perihal transformasi energi hijau (Priyadi & Pujiantara, 2024).

Bagi nelayan skala kecil yang berada di garis depan kerentanan terhadap guncangan iklim global seperti peningkatan suhu muka laut, anomali cuaca, dan pergeseran area migrasi ikan kehadiran fasilitas *cold chain* bertenaga surya menjelma menjadi instrumen adaptasi yang tidak tergantikan. Seperti yang ditunjukkan oleh studi di Kabupaten Pangkep, nelayan kini dituntut untuk merespons perubahan iklim dengan memodifikasi alat tangkap, mengubah area penangkapan ke perairan yang lebih dalam, hingga mendiversifikasi mata pencaharian mereka (Kasri et al., 2024). Segala bentuk upaya adaptasi ini hanya dapat dioptimalkan jika didukung oleh sistem penyimpanan dingin berbasis komunitas yang tangguh, yang mampu

memastikan hasil tangkapan mereka tidak membusuk sebelum mencapai pasar yang bernilai tinggi.

Kelayakan Teknologi dan Optimasi Konfigurasi Sistem Pendingin di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil

Implementasi teknologi *cold storage* bertenaga surya (*solar photovoltaic/PV*) terbukti sangat efektif dan memiliki kelayakan keteknikan serta finansial yang tinggi untuk diterapkan di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. Sebagai sektor yang padat energi (*energy-intensive*), industri pascapanen perikanan sering kali terkendala oleh krisis pasokan listrik di daerah terpencil yang umumnya masih berstatus *off-grid* atau bergantung pada pembangkit listrik diesel yang terbatas. Integrasi energi surya hadir sebagai solusi komprehensif, di mana simulasi mutakhir menggunakan perangkat lunak HOMER Pro untuk *cold storage* berkapasitas 10 ton di Cituis, Tangerang, menunjukkan masa pengembalian modal (*payback period*) yang sangat singkat, yaitu hanya 0,41 tahun, sekaligus mampu memangkas emisi karbon hingga 16.754 kg per tahun.

Keandalan operasional teknologi ini juga divalidasi melalui berbagai pemodelan dan uji coba lapangan. Di Liran, Maluku Barat Daya, pemodelan numerik menggunakan TRNSYS untuk *cold storage* mandiri berukuran peti kemas 20 kaki menghasilkan konfigurasi optimal berupa PV 24,5 kW dan baterai 151 kWh yang sanggup menghemat 23,3 Ton emisi karbon per tahun. Sementara itu, untuk menyiasati keterbatasan lahan di pulau terpencil seperti Kepulauan Kei Kecil, terobosan teknologi berupa penggabungan PV apung laut (*floating PV*) dan turbin angin terbukti sangat layak karena mampu menekan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) hingga menyentuh angka sangat rendah, yaitu USD 0,52/kWh. Dari sisi ketahanan fisik ruang pendingin, eksperimen skala

lapangan pada mesin *cold storage* 100 kg di Pulau Aceh menunjukkan keandalan performa yang stabil dengan pencapaian suhu $-15,9^{\circ}\text{C}$ tanpa beban dan $-3,1^{\circ}\text{C}$ pada kondisi beban penuh, serta menghasilkan nilai *Coefficient of Performance* (COP) aktual sebesar 2,69. Kecepatan penurunan suhu yang optimal juga ditunjukkan oleh pengembangan *micro-cold storage* portabel di Bangladesh yang mampu menurunkan suhu dari 28°C menjadi $-14,5^{\circ}\text{C}$ hanya dalam waktu 4 jam dengan cadangan baterai yang bertahan hingga 36 jam. Kelayakan teknologi pendingin ini menjadi kian optimal dan ramah lingkungan ketika dipadukan dengan konsep *green refrigeration*, yaitu mengganti refrigeran konvensional R-22 yang merusak ozon dengan hidrokarbon MC-22/HC-22 yang secara termodinamika terbukti menghasilkan COP lebih tinggi dan lebih hemat energi.

Manajemen Rantai Pasok, Evaluasi Utilitas, dan Inklusivitas Model Kepemilikan

Secara fungsional, keberadaan fasilitas penyimpanan dingin memegang peranan vital dalam manajemen logistik perikanan. Fasilitas ini bertindak sebagai pusat pengumpulan (*collection center*) sekaligus penyangga pasokan (*buffer stock*) yang mampu menjaga kesegaran komoditas, memperpanjang masa simpan, serta menstabilkan fluktuasi harga pasar dengan cara menampung surplus tangkapan di musim panen untuk disalurkan kembali saat musim paceklik. Kendati demikian, hasil tinjauan empiris mengungkap adanya kesenjangan yang lebar antara pembangunan infrastruktur fisik dengan efektivitas tata kelola rantai pasok di lapangan. Analisis kapasitas dan utilitas di Provinsi Lampung menyingkap sebuah paradoks manajemen logistik; meskipun wilayah tersebut memiliki potensi surplus ikan beku yang melimpah

hingga 184.987 ton per tahun, ke-19 fasilitas *cold storage* yang beroperasi di sana rata-rata hanya mencatatkan tingkat okupansi atau utilitas sebesar 46%. Angka utilitas ini berada jauh di bawah standar ideal global yang mensyaratkan tingkat okupansi sebesar 70% hingga 85%. Kinerja rantai pasok kian terhambat oleh rendahnya rasio perputaran stok (*turnover ratio*) yang hanya mencapai 0,81 siklus per bulan, padahal perputaran ideal berkisar antara 6 hingga 12 siklus per tahun untuk menjaga margin keuntungan pengelola. Rendahnya utilitas dan perputaran stok ini umumnya dipicu oleh ketidakpastian kontinuitas pasokan bahan baku dari nelayan lokal, lemahnya koordinasi manajemen distribusi, serta hambatan pemasaran. Paradoks ini diperparah oleh dominasi perusahaan swasta besar yang cenderung memprioritaskan penyimpanan komoditas internal mereka sendiri, sehingga menutup aksesibilitas bagi nelayan skala kecil. Ketidadaan strategi pemasaran yang terintegrasi juga terkonfirmasi pada evaluasi di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bungus, Padang, di mana kegiatan pemasaran masih bersifat konvensional dan sangat bergantung pada rantai pasok domestik ke Jakarta tanpa adanya strategi ekspansi pasar yang spesifik. Untuk memecahkan kebuntuan logistik ini, literatur menekankan pentingnya pergeseran paradigma dari tata kelola komersial murni menuju model kepemilikan aset berbasis komunitas (*community-based ownership*) yang dikelola mandiri oleh koperasi atau paguyuban desa. Skema pengelolaan komunal ini terbukti lebih inklusif dan efektif karena mampu memangkas harga sewa fasilitas bagi nelayan kecil hingga rata-rata 10% lebih murah dibandingkan dengan fasilitas milik swasta, berkat adanya insentif regulasi pemerintah daerah serta efisiensi beban operasional kelistrikan surya.

Dampak Ekonomi, Pemberdayaan Masyarakat, dan Resiliensi terhadap Perubahan Iklim

Pada pilar sosial ekonomi, investasi pembangunan infrastruktur pendingin berbasis energi surya terbukti menciptakan efek pengganda ekonomi lokal (*multiplier effect*) yang luas dan transformatif bagi masyarakat pesisir. Evaluasi finansial terhadap fasilitas *cold storage* milik pemerintah daerah di Parigi Moutong, Sulawesi Tengah, menunjukkan tingkat kelayakan investasi yang sangat menjanjikan dengan nilai *Net Present Value* (NPV) mencapai Rp20,6 Miliar dan *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 47%. Aktivitas sirkulasi modal dan operasional dari infrastruktur ini terbukti mampu mendorong pendapatan rumah tangga nelayan, menjamin stabilitas harga jual di tingkat lokal, serta menyerap tenaga kerja baru bagi warga sekitar untuk mengisi pos penyortiran, penimbangan, administrasi, hingga manajemen distribusi. Pemberdayaan ekonomi ini kian kuat berkat sifat teknologi *solar photovoltaic* yang modular, sehingga memungkinkan penerapan sistem pendingin langsung di atas armada penangkapan ikan (*on-board processing*). Implementasi sistem PV *off-grid* di atas kapal penangkap rajungan di Rembang, misalnya, terbukti layak secara ekonomi karena mampu memproduksi listrik mandiri hingga 1.740 kWh per tahun dengan Return on Investment proyek yang jelas. Selain itu, inovasi kotak pendingin (*cool box*) bertenaga surya portabel yang mengintegrasikan elemen termoelektrik (Peltier) dan fitur kejutan listrik anti-bakteri (*pulsed electric field*) mampu menjaga stabilitas suhu di kisaran 0- 5°C selama 10 jam pelayaran. Teknologi ini terbukti efektif membunuh bakteri pembusuk tanpa merusak struktur daging ikan, memberikan alternatif yang jauh lebih

unggul dibandingkan metode pengawetan es tradisional. Upaya pemberdayaan masyarakat pesisir juga mewujud dalam bentuk kemandirian energi seperti yang diterapkan di Desa Bringsang, Madura, melalui inovasi mesin *freezer* pembuat es komunal bertenaga surya 600 Wp. Fasilitas yang mampu memproduksi hingga 450 Liter es per hari ini tidak hanya memotong biaya pengadaan bahan awetan nelayan, melainkan juga berfungsi sebagai instrumen edukasi berharga dalam mendiseminasi pemahaman masyarakat akar rumput mengenai transisi energi hijau di pelosok pedesaan.

Bagi nelayan skala kecil yang berada di garis depan kerentanan terhadap guncangan iklim global seperti kenaikan suhu muka laut, anomali cuaca, dan pergeseran area migrasi komoditas laut kehadiran sistem rantai dingin mandiri energi ini telah menjelma menjadi

KESIMPULAN

Integrasi energi surya (*solar photovoltaic*) pada fasilitas *cold storage* di wilayah pesisir terbukti sangat andal secara teknis dan layak secara finansial karena mampu mengatasi krisis listrik di daerah terpencil, menekan emisi karbon, serta mempercepat masa pengembalian modal. Namun, pembangunan infrastruktur fisik ini masih menyisakan paradoks manajemen logistik, di mana utilitas fasilitas rata-rata masih di bawah 50% akibat lemahnya koordinasi distribusi, ketidakpastian pasokan bahan baku, dan dominasi swasta komersial yang menutup akses nelayan kecil. Sebagai solusi, penerapan model kepemilikan berbasis komunitas (*community-based ownership*) terbukti paling efektif karena dapat menekan biaya sewa hingga 10% lebih murah. Pada akhirnya, infrastruktur rantai dingin Mandiri energi ini tidak hanya memberikan efek pengganda ekonomi

instrumen adaptasi iklim yang krusial dan tidak tergantikan. Sebagaimana dipetakan dalam studi kasus di Kabupaten Pangkep, nelayan saat ini dituntut untuk merespons dinamika perubahan iklim dengan memodifikasi alat tangkap, mengubah wilayah operasional ke perairan yang lebih dalam, hingga mendiversifikasi mata pencaharian. Segala bentuk strategi adaptasi fisik dan ekonomi tersebut hanya dapat mencapai hasil yang optimal apabila didukung oleh ketersediaan sistem penyimpanan dingin yang tangguh di darat. Kehadiran ruang pendingin berbasis komunitas ini memastikan hasil tangkapan yang diperoleh nelayan dengan usaha dan risiko tinggi di laut tidak membusuk sia-sia, mempertahankan daya tawar mereka di hadapan tengkulak, meningkatkan nilai jual produk, serta menyelamatkan ruang penghidupan masyarakat pesisir marginal dari ancaman kebangkrutan ekonomi.

(*multiplier effect*) melalui penciptaan lapangan kerja dan peningkatan pendapatan, melainkan juga bertindak sebagai instrumen adaptasi iklim yang krusial bagi resiliensi nelayan skala kecil. Secara praktis, penelitian ini mengimplikasikan pentingnya reformasi tata kelola dari komersial murni ke arah inklusif berbasis koperasi komunitas, didukung oleh regulasi dan insentif pemerintah daerah. Untuk pengembangan ke depan, agenda penelitian yang perlu diprioritaskan meliputi integrasi IoT dan *smart supply chain* guna mengkaji penggunaan sensor pintar untuk memantau kualitas produk dan fluktuasi suhu secara *real-time*. Selain itu, penelitian masa depan juga perlu berfokus pada digitalisasi pasar perikanan untuk meneliti dampak integrasi *cold storage* komunitas dengan platform *e-commerce* guna mengoptimalkan rasio perputaran stok (*turnover ratio*). Terakhir, diperlukan studi kelayakan mengenai skema pembiayaan makro yang

mengkaji model pendanaan hibrida melalui kemitraan antara pemerintah, swasta, dan komunitas demi mendukung masifikasi infrastruktur hijau di berbagai pulau terpencil di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Fajry, F. R., Garniwa, I., & Tofani, A. F. (2018). Techno Economic Analysis of Hybrid Sea Floating Photovoltaic and Wind Turbine for Fish Cold Storage At Remote Island In Indonesia (Case Study: Small Kei Island, Maluku, Indonesia). *MATEC Web of Conferences*.
- Hossain, M. A., & Talukdar, S. (2019). Development and Performance Evaluation of a Solar Energy based Portable Micro-Cold Storage. *DUET Journal*, 5(1), 57-66.
- Kasri, K., Hasani, M. C., Baso, A., Amiluddin, A., & Arief, A. A. (2024). Small-scale Fishermen's Adaptation to Climate Change Impacts in Coastal Areas and Small Islands in Pangkep Regency. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 8(1), 63-82.
- Khairunnas, K., Syuhada, A., & Sofyan, S. E. (2023). Experimental review of cold storage for fishery products in Aceh Island using solar energy. *Jurnal Polimesin*, 21.
- Kuncoro, A., Setiawan, A. A., Natsir, M., Wisnugroho, S., Sasmita, S., Setiyobudi, N., Zarochman, Z., Sukoraharjo, S. S., Wassahua, Z., & Permana, S. M. (2024). Off-grid photovoltaic system design for on-board blue swimming crab streamer processing and cold storage: System design and simulation. *BIO Web of Conferences*.
- Mardjudo, A., & Asrawaty, A. (2019). Pkm Pemberdayaan Kelompok Wanita Nelayan Desa Kaliburu Kecamatan Sindue Tombusabora Kabupaten Donggala Sulawesi Tengah. *Jurnal Abditani*, 2(2), 87-92.
- Mehmood, S., Usman, M., Santika, W. G., & Renaldi, R. (2024). Numerical model of solar-driven Cold Storage for small-scale fisheries. *Energy Proceedings*, 38.
- Priyadi, A., & Pujiantara, M. (2024). Pemberdayaan Masyarakat Melalui Inovasi Teknologi Penghasil Es Berbasis Energi Terbarukan sebagai Upaya Peningkatan Produktivitas dan Kualitas Ikan Hasil Tangkapan Nelayan Desa Bringsang, Madura. *Sewagati*, 8(6), 2326-2335.
- Rasta, I., Susila, I., & Subagia, I. (2018). Technology application of environmental friendly refrigeration (green refrigeration) on cold storage for fishery industry. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Riadi, S., Damar, A., Purnamadewi, Y. L., Pertiwi, S., & Wahyudin, Y. (2025). Optimizing capacity, occupancy, and turnover rate of fisheries cold storages in Lampung Province: a needs analysis. *BIO Web of Conferences*.
- Setiawan, R. J., Ma'ruf, K., Darmono, D., & Hermawan, A. T. (2024). Design system and performance analysis of fish storage box by utilizing solar energy. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 15(4), 2591-2602.
- Thalib, H., Maarif, S., & Adhi Setiawan, E. (2021). Optimization of Solar

- PV System for Fishery Cold Storage based on Ownership Model and Regulation Barrier in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*,
- Wardi, W., & Budiyanto, M. A. (2025). Design of a 10-Ton Capacity Solar-Powered Cold Storage at the Cituis Fish Auction Site, Tangerang, Banten, Indonesia. *Journal of Materials Exploration and Findings*, 4(2), 1.
- Wulandari, F., & Warningsih, T. (2022). Marketing management of catch fish in cold storage at the bungus padang ocean fishing port (PPS) West Sumatra Province. *Economic Management and Social Sciences Journal (ECOMANS)*, 1(2), 50-54.