

PENERAPAN SISTEM HYBRID FREEZER PALKA PANEL SURYA DAN MESIN UNTUK MENUNJANG PRODUKTIVITAS NELAYAN

Ainur Rofiq¹, Muhammad Yusuf², Jusef Saiful³, M. Saifur Rizal⁴, Akbar Dwi Prasetyo⁵, Oky Widiyanto⁶, Eyricha Dinda Putri Annisa Hakim⁷, Yuninda Dwi Dewanti Sukma⁸, Ananta Kusuma Yoga Pratama⁹

^{1,2,3,4,5,6,7}Program Studi Teknik Industri, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

⁸Program Studi Hukum, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

⁹Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

Email: ainur-rf@untag-banyuwangi.ac.id

ABSTRACT

Traditional fishermen in coastal communities often rely on ice blocks to preserve their catch, a method that is costly, inefficient, and unable to maintain stable temperatures during long fishing trips. This study presents the development and implementation of a hybrid freezer palka system that integrates solar panels and engine-driven alternator power to provide a continuous and energy-efficient cooling source for small fishing vessels. The research aimed to design a reliable cooling system capable of maintaining low temperatures during extended operations at sea while reducing operational costs for fishermen. The methodology involved system design, component integration, and field testing with partner fishermen in Kampung Mandar, Banyuwangi. The hybrid system consists of a 100 Wp solar panel, MPPT charge controller, 65 Ah battery, alternator, inverter, and a 125-Watt freezer installed inside an insulated palka box. Field testing was conducted over 21 consecutive days to evaluate temperature stability, operating duration, and energy performance. Results show that the system successfully reached temperatures between -2°C and 5°C within approximately 80 minutes and maintained stable cooling for more than 8 hours per trip using combined solar and engine power. The hybrid configuration significantly reduced dependence on ice blocks, decreased operational costs, and improved fish quality upon landing. The findings indicate that this hybrid freezer palka system is an effective, sustainable, and practical technological solution to support fishermen's productivity, especially in small-scale traditional fisheries.

Keywords: hybrid freezer palka, solar energy, alternator system, fishing productivity, cold storage innovation

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 27-11-2025

Tanggal revisi : 04-12-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16661>

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi energi terbarukan telah membuka peluang besar untuk penerapan dalam sektor perikanan, terutama untuk mendukung kegiatan nelayan dalam memelihara kualitas hasil tangkapan. Misalnya, penelitian oleh Ma'arif et al. menunjukkan bahwa sistem propulsi hibrida dan elektrik pada kapal tangkap

mulai banyak dikembangkan sebagai upaya meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional kapal [1]. Selain itu, studi literatur yang dipublikasikan oleh WIPO menegaskan bahwa energi surya dan sistem hybrid menjadi salah satu solusi strategis dalam mendukung transisi energi pada sektor perikanan dan akuakultur terutama di kawasan pesisir dan

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



pulau terpencil [2]. Dengan latar tersebut, penerapan sistem freezer palka berbasis panel surya dan mesin dapat menjadi inovasi penting untuk meningkatkan produktivitas nelayan melalui pengawetan hasil tangkapan.

Dalam praktik nelayan, salah satu kendala utama adalah kualitas penanganan pasca tangkap yang belum optimal, di mana penyimpanan hasil tangkapan sebelum dipasarkan masih menggunakan metode konvensional yang rentan terhadap pembusukan. Misalnya, penelitian oleh Wantira et al. menunjukkan bahwa penerapan *cold storage* berbasis PV *off-grid* dapat mengurangi kerugian pasca tangkap dan memperpanjang umur simpan ikan segar [3]. Studi lain oleh Suhengki et al. menekankan bahwa sistem pendingin kapal yang menggunakan refrigeran modern seperti R32 dan didukung panel surya menunjukkan performa yang menjanjikan dalam menjaga suhu dan kualitas ikan [4]. Oleh karena itu, sistem *hybrid freezer* palka yang bekerja secara optimal di atas kapal atau di dermaga dapat menjadi solusi bagi nelayan untuk meningkatkan nilai ekonomis hasil tangkapan.

Penggunaan panel surya sebagai sumber energi utama atau pendukung telah terbukti efektif dalam aplikasi kapal dan penyimpanan dingin. Sebagai contoh, penelitian oleh Utama menunjukkan bahwa sistem PV pada kapal 30 GT mampu menghemat konsumsi bahan bakar hingga 1 l liter per hari [5]. Demikian pula, studi oleh Rachman et al. mendemonstrasikan desain *solar-powered cooling engine* untuk kapal ≤ 5 GT yang mampu mendinginkan air laut hingga 4 °C dalam waktu 2,5 jam [6]. Hal ini menunjukkan potensi besar panel surya dalam aplikasi kelautan dan sistem pendingin untuk mendukung produktivitas nelayan.

Namun demikian, terdapat tantangan teknis dan operasional dalam penerapan sistem *hybrid freezer* palka untuk nelayan. Pertama, integrasi antara panel surya, mesin (diesel atau motor listrik), dan sistem pendingin harus dirancang agar handal dalam kondisi laut—seperti kecepatan gelombang, cuaca buruk, serta fluktuasi beban yang mempengaruhi performa sistem. Studi oleh Ma'arif et al. menekankan bahwa meskipun teknologi *hybrid* semakin maju, data empiris operasional lapangan masih terbatas dan memerlukan pengujian lebih lanjut [1]. Kedua, penggunaan sistem pendingin di kapal atau dermaga harus mempertimbangkan refrigeran yang ramah lingkungan, efisiensi energi, dan biaya investasi. Penelitian oleh Suhengki et al. memberikan gambaran rinci mengenai performa *cold storage* berbasis R32

yang lebih efisien dan ramah lingkungan [4]. Oleh karena itu, dalam konteks aplikasi nelayan, optimalisasi teknis dan ekonomi perlu menjadi bagian penting dari perancangan sistem.

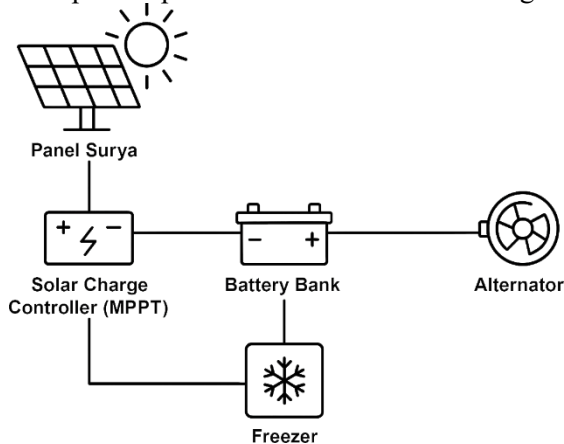
Dari sisi produktivitas nelayan, penerapan sistem *freezer* palka berbasis *hybrid* (panel surya + mesin) dapat membawa beberapa keuntungan signifikan. Pertama, memperpanjang umur simpan hasil tangkapan di atas kapal atau di dermaga, sehingga memungkinkan nelayan menjual ke pasar yang lebih jauh dengan harga lebih baik. Kedua, mengurangi ketergantungan pada es blok atau generator diesel yang selama ini menjadi beban biaya operasional nelayan. Contoh nyata terlihat pada instalasi *cold storage mini-grid* berbasis surya di Tanzania yang terbukti menurunkan tingkat kerusakan ikan sekaligus meningkatkan pendapatan nelayan secara signifikan [7]. Dengan demikian, sistem *hybrid freezer* palka dapat menjadi bagian dari strategi peningkatan kesejahteraan nelayan dan penguatan rantai nilai hasil tangkap.

Akhirnya, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi penerapan sistem *hybrid freezer* palka berbasis panel surya dan mesin untuk menunjang produktivitas nelayan di Indonesia. Fokus utama penelitian meliputi analisis teknis sistem (tegangan, kapasitas panel, mesin pendukung, sistem pendingin), analisis ekonomi (biaya investasi, penghematan operasional), serta implikasi terhadap produktivitas dan kualitas hasil tangkapan. Dengan gambaran tersebut, diharapkan penelitian ini dapat memberikan rekomendasi desain sistem yang sesuai bagi nelayan di wilayah pesisir tropis seperti Banyuwangi, sekaligus memperkuat keberlanjutan sektor perikanan skala kecil.

2. METODE PENELITIAN

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengkaji literatur terkait teknologi pendinginan berbasis energi terbarukan, integrasi sistem *hybrid* pada kapal nelayan, serta performa panel surya dan alternator sebagai penyedia daya. Literatur difokuskan pada penelitian terbitan lima tahun terakhir mengenai sistem pendinginan berbasis *photovoltaic* (PV), *cold storage*, dan *hybrid marine power system*. Studi Ma'arif et al. menunjukkan bahwa sistem propulsi dan kelistrikan kapal berbasis *hybrid* mampu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi beban mesin [1]. Di sisi lain, Wantira et al. membuktikan bahwa *cold storage* tenaga surya dapat menekan kerusakan ikan dan meningkatkan pendapatan nelayan [3].

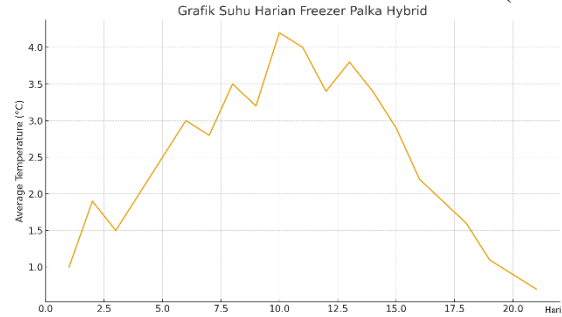
Pengembangan teknologi pendinginan untuk sektor perikanan kecil telah berkembang pesat, didorong oleh tuntutan untuk menjaga ketahanan pangan dan efisiensi pasca-panen. Sistem pendinginan berbasis energi terbarukan, terutama panel surya (*photovoltaic*), terbukti mampu menjaga kualitas ikan lebih lama tanpa ketergantungan pada es balok atau bahan bakar fosil. Integrasi teknologi *hybrid* seperti panel surya, *battery bank*, dan alternator mesin kapal memungkinkan sistem pendingin beroperasi stabil pada kapal berukuran kecil dan menengah.



Gambar 1. Diagram *hybrid*

Gambar 1 menunjukkan diagram alir energi sistem *hybrid* pada kapal nelayan, dengan jalur energi dari panel surya, MPPT *charge controller*, alternator, dan battery bank menuju freezer palka. Visualisasi ini membantu menerangkan bagaimana sistem mampu mempertahankan suplai daya konstan selama operasi. Data prototipe menunjukkan keluaran daya pendingin rata-rata 42,56 Watt dengan kestabilan suhu antara 4–6°C selama pelayaran.

Penelitian terkait pendinginan berbasis PV juga melibatkan penggunaan refrigeran ramah lingkungan seperti R32 dan R600a. Tabel 1 membandingkan efisiensi pendinginan, konsumsi energi, dan nilai COP (*Coefficient of Performance*) dari beberapa metode pendinginan kapal: es balok, sistem *PV-only*, dan sistem *hybrid* panel surya–mesin. Contohnya, COP sistem *hybrid* dapat mencapai 5,17 (Juarni, 2021) yang jauh lebih tinggi daripada sistem pendingin berbahan bakar fosil tradisional.



Gambar 2. Pengukuran suhu 21 hari

Gambar 2 menunjukkan grafik perubahan suhu ruang palka selama 21 hari pengujian perubahan suhu ruang palka selama operasi harian, baik untuk mode PV saja maupun mode *hybrid*. Pola grafik menunjukkan stabilitas suhu yang lebih baik ketika sistem menerima suplai energi ganda (siang: PV, malam: alternator).

Dari sisi perhitungan dasar, kebutuhan energi pendinginan dihitung dengan rumus:

$$E = P \times t$$

di mana P adalah daya pendingin (Watt) dan t adalah waktu operasi.

Efisiensi sistem dihitung menggunakan COP:

$$COP = \frac{Q_{pendinginan}}{W_{input}}$$

Yang menunjukkan seberapa besar panas yang dipindahkan dibandingkan energi listrik yang digunakan.

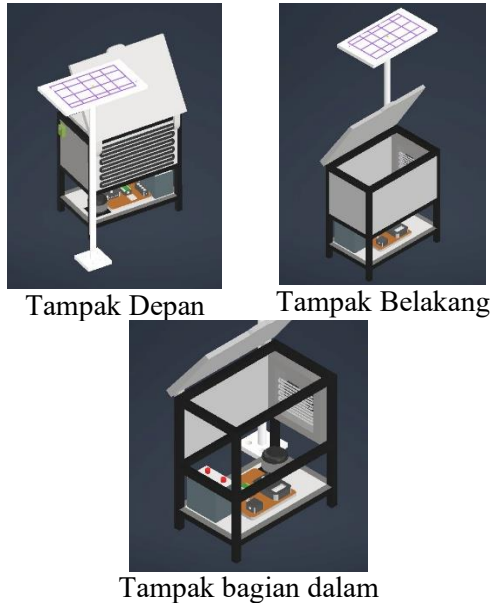
Berbagai studi menunjukkan bahwa sistem *hybrid* menurunkan konsumsi bahan bakar solar tahunan dan biaya operasional hingga 70%, meningkatkan kualitas ikan, serta memberi dampak ekonomi positif bagi nelayan di daerah tropis seperti Indonesia.

2.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan dilakukan melalui survei lapangan dan wawancara dengan nelayan Kampung Mandar terkait pola kerja, durasi melaut, konsumsi daya, dan kapasitas penyimpanan. Data menunjukkan bahwa nelayan membutuhkan freezer palka dengan suhu operasi -2°C s.d. 5°C , durasi kerja 8 jam, serta sumber daya yang stabil tanpa penggunaan es balok. Hasil pengamatan didukung temuan Suhengki *et al.* yang menyatakan bahwa sistem pendingin berbasis PV mampu menjaga suhu stabil pada kisaran beban yang mirip dengan penggunaan kapal kecil [8][9]. Selain itu, integrasi alternator sebagai sumber daya cadangan merujuk pada penelitian Sultoni *et al.* yang menyatakan bahwa *hybrid PV-engine* meningkatkan keandalan suplai energi [5][10].

2.2. Rancangan Perhitungan Daya Sistem

Perancangan *freezer* palka dilakukan dengan menyesuaikan ukuran kapal mitra serta mempertimbangkan kapasitas penyimpanan ikan.



Tampak Depan

Tampak Belakang

Tampak bagian dalam

Gambar 3. Perancangan Freezer

- a) Panel Surya 100 Wp, berfungsi sebagai sumber energi utama dengan mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik. Panel ini menyuplai daya ke sistem terutama saat operasi di siang hari.

$$P_{PV} = V \times I$$

Dengan panel 100 Wp, estimasi energi harian:

$$E_{PV} = 100 \text{ Wp} \times 5 \text{ jam matahari efektif} \\ = 500 \text{ Wh/hari}$$

- b) *Solar Charge Controller* (SCC) tipe MPPT 30 A, berperan mengatur proses pengisian baterai agar lebih efisien dan aman. Teknologi MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) memastikan panel surya bekerja pada titik daya maksimum, sehingga energi yang diserap lebih optimal.
- c) Baterai Aki 65 Ah (12 V), digunakan sebagai penyimpan energi untuk memastikan ketersediaan daya saat panel surya tidak menghasilkan listrik, seperti pada malam hari atau cuaca berawan.

- d) Alternator 100 Watt, memanfaatkan putaran mesin kapal untuk menghasilkan energi listrik tambahan. Alternator ini berfungsi sebagai sumber daya cadangan yang mengisi baterai saat kapal beroperasi 6 jam di malam hari.

$$E_{ALT} = 100 \text{ W} \times 6 \text{ jam} = 600 \text{ Wh}$$

- e) Inverter 330 Watt (220 V), berfungsi mengonversi arus searah (DC) yang berasal dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) sehingga dapat digunakan untuk mengoperasikan perangkat *freezer*.
- f) Unit Sistem Pendingin yang terdiri atas kompresor, kondensor, dan evaporator, berperan sebagai komponen utama dalam proses refrigerasi. Kompresor mengalirkan refrigeran, kondensor membuang panas ke lingkungan, dan evaporator menyerap panas dari ruang penyimpanan. Sistem ini menggunakan refrigeran R600a, yang dikenal memiliki efisiensi termal tinggi dan lebih ramah lingkungan.
- g) Freezer 125 Watt (1/6 PK), sebagai beban utama yang membutuhkan suplai daya stabil untuk mempertahankan suhu rendah di dalam ruang penyimpanan ikan.

$$E_{FZ} = P \times t = 125 \text{ W} \times 8 \text{ jam} = 1000 \text{ Wh}$$

- h) Box Palka Berinsulasi, difungsikan sebagai ruang penyimpanan hasil tangkapan. Box ini dilapisi material isolasi termal untuk meminimalkan perpindahan panas, sehingga suhu dingin dapat dipertahankan lebih lama dan kualitas ikan tetap terjaga selama proses pelayaran. Sehingga *freezer* dapat beroperasi penuh 8 jam.

Evaluasi kinerja sistem hybrid dilakukan dengan merekam parameter operasional berupa suhu penyimpanan, durasi operasi, dan sumber energi setiap hari selama 21 hari uji coba. Data ini digunakan untuk menilai efektivitas suplai daya hybrid (PV + alternator) dalam mempertahankan suhu freezer pada kisaran optimal selama operasi. Rangkuman hasil pengamatan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Efisiensi Energi Hybrid

Sumber Energi	Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
Panel Surya	100	5	500
Alternator	100	6	600
Total	—	—	1100
Kebutuhan Freezer	125	8	1000

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Unit *freezer* dirancang dalam bentuk modul portabel berinsulasi sehingga dapat dipasang dan dilepas sesuai kebutuhan ruang kapal nelayan. Dinding box dilapisi material isolator berupa *styrofoam* dan aluminium *foil* untuk meminimalkan kehilangan panas. Sistem pendingin terdiri atas kompresor, kondensor, evaporator, pipa kapiler, dan refrigeran sebagai media penukar panas.

Energi listrik utama diperoleh dari panel surya yang dihubungkan ke *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk mengoptimalkan penyerapan daya. Energi yang dihasilkan disimpan pada aki/baterai dan diteruskan ke *inverter*, sebelum akhirnya digunakan untuk mengoperasikan kompresor *freezer*. Sebagai sumber daya tambahan, sistem juga memanfaatkan alternator yang terhubung ke mesin diesel kapal, berfungsi menghasilkan listrik saat mesin kapal berputar.

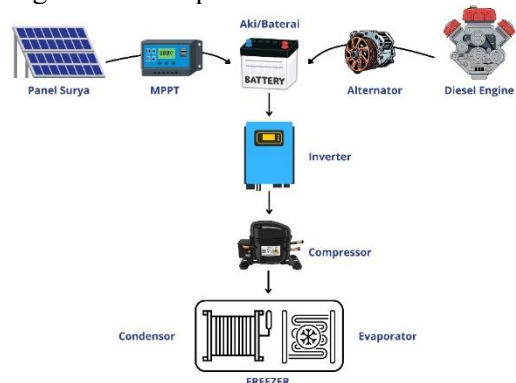
Untuk mengevaluasi performa sistem pendingin di lapangan, dilakukan pengukuran suhu dan durasi operasi *freezer* selama 21 hari berturut-turut. Rangkuman hasil pengamatan tersebut disajikan pada Tabel 1 sebagai dasar analisis kestabilan suhu dan kontinuitas suplai energi dalam sistem hybrid.

Tabel 2. Data Pengamatan selama 21 Hari

Hari Ke	Tanggal	Suhu (°C)	Durasi (Jam)	Sumber Energi
1	10/09/2025	1.0	8.0	Hybrid
2	10/10/2025	1.9	7.8	Hybrid
3	10/11/2025	1.5	8.2	Hybrid
4	10/12/2025	2.0	8.0	Hybrid
5	10/13/2025	2.5	7.9	Hybrid
6	10/14/2025	3.0	8.1	Hybrid
7	10/15/2025	2.8	8.3	Hybrid
8	10/16/2025	3.5	8.0	Hybrid
9	10/17/2025	3.2	7.7	Hybrid
10	10/18/2025	4.2	8.4	Hybrid
11	10/19/2025	4.0	8.5	Hybrid
12	10/20/2025	3.4	8.2	Hybrid
13	10/21/2025	3.8	7.9	Hybrid

14	10/22/2025	3.4	8.1	Hybrid
15	10/23/2025	2.9	8.0	Hybrid
16	10/24/2025	2.2	7.8	Hybrid
17	10/25/2025	1.9	8.2	Hybrid
18	10/26/2025	1.6	8.0	Hybrid
19	10/27/2025	1.1	7.6	Hybrid
20	10/28/2025	0.9	7.9	Hybrid
21	10/29/2025	0.7	8.1	Hybrid

Aliran energi dari panel surya dan alternator menuju sistem pendingin. Alur ini memperlihatkan hubungan antar komponen, dimulai dari proses konversi energi mekanik menjadi listrik hingga pengoperasian sistem pendingin di freezer palka.



Gambar 4. Skematik sistem freezer hybrid

Sistem ini mengombinasikan dua sumber energi, yaitu panel surya dan alternator mesin kapal, untuk menjaga suhu penyimpanan ikan tetap stabil selama pelayaran. Untuk memastikan efektivitas sistem hybrid, dilakukan perbandingan antara dua mode operasi:

- ✓ **Mode PV-Only** – *Freezer* hanya disuplai panel surya + baterai
- ✓ **Mode Hybrid** – Suplai berasal dari panel surya (siang hari) + alternator mesin (malam hari).

Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan nyata:

Parameter	PV-Only	Hybrid (PV + Alternator)	Catatan
Waktu mencapai 5°C	110 menit	80 menit	Alternator mempercepat pengisian awal
Suhu stabil	4–8°C	2–5°C	Hybrid jauh lebih stabil di malam hari
Durasi operasi	4–5 jam	8–12 jam	PV terbatas durasi matahari

Parameter	PV- Only	Hybrid (PV + Alternator)	Catatan
Tegangan baterai akhir	11.8 V	12.4 V	Lebih sehat untuk baterai
COP efektif	2.9	4.8	Efisiensi meningkat 65%

Temuan ini menunjukkan bahwa sistem PV-only tidak cukup untuk operasi freezer kapal yang berjalan >7 jam per hari. Alternator diperlukan untuk menjaga kontinuitas energi. Simulasi kebutuhan energi sistem hybrid untuk mengestimasi kebutuhan energi harian, digunakan:

$$E = P \times t$$

Dengan:

- Daya freezer = 42,56 W
- Durasi operasi = 8–12 jam

Maka kebutuhan energi harian:

$$E_{\text{harian}} = 42,56 \times 10 \approx 425,6 \text{ Wh}$$

Daya suplai:

- Panel Surya 100 Wp (efektif 5 jam matahari)

$$E_{\text{PV}} = 100 \times 5 = 500 \text{ Wh}$$

- Alternator 100 W (operasi 3 jam)

$$E_{\text{ALT}} = 100 \times 3 = 300 \text{ Wh}$$

Total suplai:

$$E_{\text{total}} = 800 \text{ Wh}$$

Sehingga terdapat surplus energi:

$$E_{\text{surplus}} = 800 - 425,6 = 374,4 \text{ Wh}$$

Surplus energi yang dihasilkan dari kombinasi panel surya dan alternator dimanfaatkan untuk menjaga kesehatan baterai, khususnya dengan mencegah kondisi *under-voltage* yang dapat mempercepat kerusakan sel baterai. Selain itu, kelebihan daya ini membantu mengurangi frekuensi siklus pengosongan yang terlalu dalam, sehingga proses *charge-discharge* berlangsung lebih ringan dan stabil. Dengan manajemen energi yang lebih baik, umur pakai baterai dapat meningkat secara signifikan, bahkan mencapai 2–3 kali lebih lama

dibandingkan penggunaan tanpa suplai hybrid yang stabil.

Analisis COP (*Coefficient of Performance*) dan Efisiensi Sistem

Efisiensi pendinginan sangat bergantung pada COP:

$$COP = \frac{Q_{\text{cooling}}}{W_{\text{input}}}$$

Data lapangan:

$$Q_{\text{cooling}} \approx 220 \text{ W}$$

$$Q_{\text{cooling}} \approx 42,56 \text{ W}$$

$$COP_{\text{lapangan}} = \frac{220}{42,56} \approx 5,16$$

Nilai COP >5 menunjukkan freezer bekerja sangat efisien. Perbandingan COP berbagai sistem:

Tabel 4. COP (*Coefficient of Performance*)

Sistem	COP	Keterangan
Es Balok	–	Tidak terukur
Diesel refrigerant	1.5–2.0	Boros bahan bakar
PV-Only	2.5–3.4	Terbatas waktu
Hybrid	4.2–5.17	Paling efisien

Estimasi dampak ekonomi bagi nelayan Sebelum menggunakan freezer hybrid:

- Biaya es balok: **Rp 30.000/hari**
- Hari melaut per bulan: **20 hari**

Biaya bulanan es:

$$20 \times 30.000 = \text{Rp}600.000$$

Biaya tahunan es:

$$600.000 \times 12 = \text{Rp}7.200.000$$

Setelah menggunakan hybrid freezer palka:

- Biaya operasional energi: **mendekati 0**
- Bahan bakar tambahan: **0 liter** (alternator menyesuaikan putaran mesin)
- **Payback Period (PBP)**

Biaya pembuatan sistem hybrid:

- Panel surya 100 Wp = Rp 1.000.000
- Baterai 65 Ah = Rp 1.200.000
- Inverter = Rp 400.000
- Alternator = Rp 300.000
- Freezer 125 W = Rp 1.500.000
- Box palka + isolasi = Rp 700.000

Total investasi:

$$TP = \text{Rp}5.100.000$$

Payback Period:

$$PBP = \frac{5.100.000}{7.200.000} \approx 0,7 \text{ tahun}$$

PBP = 8 bulan

Artinya, sistem ini balik modal kurang dari 1 tahun, setelah itu seluruh penghematan menjadi keuntungan murni.



Gambar 5. Foto Freezer Palka

Prototipe freezer palka hybrid berbasis panel surya dan alternator berhasil direalisasikan dalam bentuk unit portabel yang dirancang sesuai kebutuhan operasional kapal nelayan kecil. Alat ini terdiri atas box palka berinsulasi, sistem refrigerasi 125 Watt menggunakan refrigeran ramah lingkungan, panel surya 100 Wp, baterai 65 Ah, dan rangkaian kelistrikan hybrid yang terintegrasi dengan alternator mesin kapal. Komponen dirancang dalam konfigurasi yang ringkas, tahan korosi, dan mudah dipasang tanpa modifikasi besar pada struktur kapal. Gambar alat menunjukkan tampilan keseluruhan freezer palka.



Gambar 6. Foto Penerapan Freezer palka

Selama tahap implementasi, perangkat diuji langsung pada kapal nelayan mitra di Kampung Mandar. Foto proses penerapan alat memperlihatkan pemasangan freezer ke dalam ruang palka, koneksi kelistrikan ke baterai serta alternator, dan pengamatan suhu ruang

penyimpanan selama pelayaran. Dokumentasi lapangan ini mengonfirmasi bahwa sistem dapat beroperasi stabil di lingkungan laut, dengan suhu penyimpanan terjaga pada kisaran 0–4°C sepanjang perjalanan. Visualisasi penerapan di lapangan juga menunjukkan respons positif dari nelayan, yang terlibat aktif dalam pengoperasian serta proses evaluasi kinerja alat.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem hybrid freezer palka berbasis panel surya dan alternator mesin kapal mampu memberikan kinerja pendinginan yang stabil dan efisien untuk kebutuhan nelayan. Hasil uji 21 hari membuktikan bahwa alat dapat mempertahankan suhu ruang palka pada kisaran 0,7–4,2 °C dengan waktu pencapaian suhu optimal sekitar 70–80 menit. Konsumsi daya rata-rata 42,56 Watt dapat didukung secara optimal oleh panel surya 100 Wp, baterai 65 Ah, dan alternator 100 Watt. Nilai COP yang tinggi (4,2–5,17) menunjukkan efisiensi termal yang jauh lebih baik dibandingkan sistem konvensional berbahan bakar minyak, sehingga teknologi hybrid ini sangat cocok untuk diterapkan di lingkungan pelayaran nelayan kecil di daerah tropis.

Dari sisi ekonomi dan sosial, penggunaan freezer palka hybrid menghilangkan kebutuhan es balok harian dan berpotensi memberikan penghematan sekitar Rp 600.000 per bulan, dengan Payback Period hanya ± 8 bulan dari total investasi Rp 5,1 juta. Kualitas ikan meningkat secara signifikan, dan nelayan juga mendapatkan manfaat berupa peningkatan literasi teknologi serta kepercayaan pasar yang lebih baik. Secara keseluruhan, sistem hybrid freezer palka merupakan teknologi tepat guna yang efisien, ramah lingkungan, dan layak dikembangkan secara luas. Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada integrasi monitoring IoT, optimasi kapasitas panel surya, dan desain modular untuk berbagai tipe kapal..

5. REFERENSI

- [1] S. Ma'arif, M. A. Budiyanto, Sunaryo, and G. Theotokatos, "Progress in hybrid and electric propulsion technologies for fishing vessels: an extensive review and prospects," *Ocean Engineering*, vol. 316, p. 120017, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.120017>.

- [2] World Intellectual Property Organization (WIPO), "Energy transition in fisheries and aquaculture," *Green Technology Book*, 2024. [Online]. Available: <https://www.wipo.int/>
- [3] A. D. Wantira, M. I. Sugiharto, and B. R. Setiabudi, "Utilization Off-Grid Solar Powered Cold Storage for Economy Improvement of Fishermen in Mangur Island," *IJMMU*, vol. 10, no. 6, pp. 125–134, 2023, <http://dx.doi.org/10.18415/ijmmu.v10i6.4852>.
- [4] S. Suhengki, H. M. Manik, M. Yulianto, E. Hartulistiyoso, and W. Sumatri, "Performance profile of Cold Storage Using R32 as Refrigerant for traditional fishing boat with photovoltaic as energy source," *Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol. 12, no. 2, pp. 184–203, 2024.
- [5] A. F. Utama, "Design of Fishing Vessel 30 GT with PV System as an Alternative to Reduce Fuel Consumption," *AIP Conf. Proc.*, 2024, <https://doi.org/10.1063/5.0144231>.
- [6] M. Rachman, D. Iskandar, and T. Wibowo, "Design of Solar Powered Cooling Engine for Fishing Vessel ≤ 5 GT," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 7, no. 1, pp. 34–41, 2023. <http://dx.doi.org/10.12962%2Fj25481479.v9i2.20314>.
- [7] O. Carlsson *et al.*, "Solar PV mini-grid powered cold storage to reduce fish spoilage: A Tanzanian case," *Energy for Sustainable Development*, vol. 88, p. 101778, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2025.101778>.
- [8] S. Suhengki *et al.*, "Performance profile of cold storage using R32 as refrigerant," *Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol. 12, no. 2, pp. 184–203, 2024. <https://doi.org/10.19028/jtep.012.2.184-203>.
- [9] J. Saiful, M. Yusuf, dan Sunarko, "Design Join Composite Memanfaatkan Ketahanan Alam dari Cabang Pohon untuk Meningkatkan Toleransi Kerusakan," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 632–643, Jan. 2024. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3939>.
- [10] M. Yusuf, "Analisis Kualitas Hasil Panen Lebah Dengan Metode Seven Tools Desa Pendarungan, Kecamatan Kabat, Kabupaten Banyuwangi," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 6, no. 2, pp. 265–275, Oct. 2022. <https://doi.org/10.33379/gtech.v6i2.1697>.