

Analisis Penggunaan Energi Surya Untuk Kebutuhan Mini Cold Storage Dengan Kapasitas 5 Liter

Christiawan Bagaskara^{1*}, Sri Endah Susilowati², Amma Muliya Romadoni³

1. Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta ; e-mail : christianbagas0115@gmail.com
2. Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta ; e-mail : sri.endah@uta45jakarta.ac.id
3. Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta ; e-mail : amma.muliya@uta45jakarta.ac.id

penulis : Christiawan Bagaskara

Abstract: The increasing need for small-scale cooling in areas without electricity has driven the need for alternative solutions based on renewable energy. This study aims to analyze the performance of a 5-liter solar-powered mini cold storage system. The system is designed using a 100 Wp solar panel, two 12V 45Ah batteries, a solar charge controller, and other supporting components. Tests were conducted to determine the cooling capacity and efficiency of the solar energy system. The results showed that the temperature can be reduced from 30–33°C to 15–23°C in approximately 3.5 hours, with a panel efficiency of 25.04%. Based on the Life Cycle Cost Analysis (LCCA), the solar power system is more economical than conventional systems in the long term, with a break-even point in the 11th year. This system can be an effective and environmentally friendly solution for small-scale cold storage needs in remote areas.

Keywords: Solar energy; cold storage; energy efficiency; LCCA; solar panels

Abstrak: Peningkatan kebutuhan pendinginan skala kecil di daerah yang belum terjangkau listrik mendorong perlunya solusi alternatif berbasis energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa sistem mini cold storage 5 liter berbasis tenaga surya. Sistem dirancang menggunakan panel surya 100 Wp, dua baterai 12V 45Ah, solar charge controller, dan komponen pendukung lainnya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan pendinginan serta efisiensi sistem energi surya. Hasilnya menunjukkan suhu dapat diturunkan dari 30–33°C ke 15–23°C dalam waktu sekitar 3,5 jam, dengan efisiensi panel mencapai 25,04%. Berdasarkan analisis Life Cycle Cost Analysis (LCCA), sistem tenaga surya lebih ekonomis dibandingkan sistem konvensional dalam jangka panjang, dengan break-even point pada tahun ke-11. Sistem ini dapat menjadi solusi efektif dan ramah lingkungan untuk kebutuhan penyimpanan dingin skala kecil di daerah terpencil.

Kata kunci: Energi surya; cold storage; efisiensi energi; LCCA; panel surya

Diterima: Agustus 20, 2025
Direvisi: Agustus 28, 2025
Diterima: Agustus 25, 2025
Diterbitkan: Oktober 6, 2025
Versi sekarang: Oktober 6, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus bertambah karena pertumbuhan jumlah penduduk, berkembangnya industri, dan kemajuan teknologi yang pesat. Berdasarkan data dari kementerian ESDM, konsumsi listrik per kapita Indonesia meningkat dari tahun ke tahun, dengan capaian 1.109 kWh per kapita pada tahun 2021[1]. Pemanfaatan panel surya sebagai sumber Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah banyak dikembangkan, salah satunya dalam bentuk sistem mandiri (*stand-alone*) yang dapat diaplikasikan pada perangkat-perangkat kecil. Penelitian oleh Rahmat Hasrul (2021) menunjukkan bahwa panel surya mampu menghasilkan daya rata-rata harian sebesar 0,0474 watt dengan efisiensi hingga 16,42%, meskipun menggunakan panel kecil dan beban rendah. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi

surya cukup optimal bahkan dalam skala kecil dan sederhana [2]. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi surya cukup optimal bahkan dalam skala kecil dan sederhana.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi dalam pengembangan solusi energi terbarukan berskala kecil yang efisien, aplikatif, dan ramah lingkungan, serta dapat diterapkan di berbagai wilayah, termasuk daerah yang belum terjangkau listrik konvensional [3]. Di sisi lain, penggunaan energi fosil yang masih menjadi utama dalam pembangkit listrik menghasilkan berbagai masalah, seperti emisi karbon, polusi lingkungan, dan ketergantungan pada sumber daya alam yang tidak bisa diperbarui. Karena itu, dibutuhkan sumber energi yang bisa diperbarui dan ramah lingkungan. Salah satu cara yang bisa diterapkan adalah dengan memanfaatkan energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [4]. Indonesia yang berada di khatulistiwa memiliki kemampuan menerima sinar matahari sebesar 4,5 hingga 5,5 kWh per meter persegi per hari, sehingga sangat cocok untuk dikembangkan teknologi energi matahari [5]. Dengan menggunakan sistem tenaga surya, *mini cold storage* dapat beroperasi secara mandiri dan efisien, serta menjadi solusi penyimpanan hemat energi yang ramah lingkungan [6].

Berdasarkan pendahuluan yang telah diuraikan, maka permasalahan utama dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: (1) Bagaimana kebutuhan daya listrik pada *mini cold storage* berkapasitas 5 liter untuk dapat beroperasi secara optimal?; (2) Apa saja kendala yang dihadapi secara teknis maupun non-teknis yang mungkin timbul dalam implementasi energi surya pada sistem *mini cold storage*?; (3) Berapa kapasitas daya pada panel surya dan sistem penyimpanan energi (baterai) yang dibutuhkan untuk mendukung operasional *mini cold storage* secara mandiri?; (4) Bagaimana Perbandingan biaya pada sistem *mini cold storage* dengan kulkas skala rumah berkapasitas 10 liter berbasis LCCA (*Life-Cycle Cost Analysis*)?

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menganalisis suatu sistem penyimpanan dingin berskala kecil dengan kapasitas 5 liter yang beroperasi menggunakan energi surya sebagai sumber utama tenaga listrik. Adanya kebutuhan penyimpanan dingin yang hemat energi, portabel, dan ramah lingkungan, mendorong dilakukannya penelitian ini agar dapat memberikan solusi alternatif terutama di daerah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik konvensional. Secara khusus, penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu: (1) Analisis kebutuhan daya listrik pada *mini cold storage* dengan kapasitas 5 liter agar beroperasi secara optimal dan stabil pada kondisi normal; (2) Mengidentifikasi dan mengevaluasi kendala pada saat *mini cold storage* beroperasi baik secara teknis maupun non teknis dalam implementasi sistem tenaga surya skala kecil; (3) Menentukan seberapa besar kapasitas panel surya dan sistem penyimpanan daya (baterai) yang diperlukan agar *mini cold storage* dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional; (4) Melakukan analisis perbandingan biaya pada *mini cold storage* dengan kulkas skala rumah berkapasitas 10 liter dengan metode LCCA (*Life-Cycle Cost Analysis*).

2. Tinjauan Literatur

Energi surya adalah salah satu jenis energi terbarukan yang memiliki kemungkinan besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif untuk menggantikan energi fosil. Menurut Kharisma (2022), Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat melimpah karena lokasinya yang berada di garis khatulistiwa, sehingga intensitas sinar matahari tetap tinggi sepanjang tahun. Dengan rata-rata penyinaran matahari mencapai 4-5,5 kWh/m² per hari, pemanfaatan energi surya sangat mungkin diterapkan pada sistem penyediaan energi listrik, baik skala kecil maupun besar. Prinsip dasar penggunaan energi surya adalah mengubah energi radiasi matahari menjadi listrik menggunakan panel surya (*photovoltaic*/PV) [2]. Penggunaan energi surya pada *mini cold storage* menjadi solusi inovatif, terutama di daerah terpencil atau wilayah dengan keterbatasan akses listrik PLN.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan energi surya tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga ekonomis dalam jangka panjang, meskipun memerlukan investasi awal yang relatif besar. Dengan perancangan kapasitas panel surya dan baterai yang tepat, sistem *mini cold storage* dapat beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan, tanpa ketergantungan pada jaringan listrik konvensional. Berdasarkan kajian Kharisma, energi surya memiliki prospek yang sangat baik untuk diaplikasikan pada kebutuhan sehari-hari dalam skala rumah tangga maupun industri kecil [2]. Oleh karena itu, analisis penggunaan energi surya untuk memenuhi kebutuhan *mini cold storage* dengan kapasitas 5 liter sangat penting, baik secara

teknis maupun dalam mendukung upaya pengembangan energi bersih dan berkelanjutan di Indonesia.

Energi surya adalah salah satu jenis energi baru dan terbarukan yang berasal dari sinar matahari. Energi ini bisa diubah menjadi listrik menggunakan teknologi fotovoltaik (PV) yang bekerja dengan sel surya. Karena Indonesia adalah negara tropis yang terletak di sekitar garis khatulistiwa, negara ini memiliki banyak sinar matahari, dengan rata-rata 4 hingga 5 kWh/m² per hari. Potensi ini menjadikan energi surya sebagai sumber energi alternatif yang sangat bagus dan patut dikembangkan, terutama untuk mendukung upaya peralihan energi dan mengurangi emisi karbon [7].

3. Metode

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan studi kasus dan eksperimental. Perangkat diuji di Laboratorium Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta selama Mei–Juli 2025. *Mini cold storage* adalah unit penyimpanan berukuran kecil yang dirancang untuk menjaga suhu rendah guna memperlambat pertumbuhan mikroorganisme dan memperpanjang masa simpan bahan makanan, obat, atau sampel biologis. Spesifikasinya disesuaikan berdasarkan prinsip efisiensi energi, kapasitas ruang, dan sistem pendinginan.

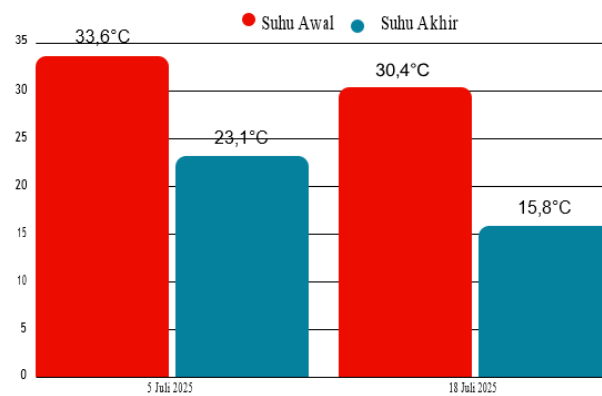
Tabel 1. Spesifikasi Mini Cold Storage

No	Parameter	Spesifikasi
1.	Kapasitas	5 Liter
2.	Rentang Suhu Operasi	10°C - 20°C
3.	Konsumsi Daya	50 Watt(untuk satu modul)
4.	Sumber Energi	Listrik AC/DC, baterai, atau panel surya
5.	Waktu Pendinginan Awal	30-60 menit hingga mencapai target

Data dikumpulkan dari hasil simulasi pengoperasian *mini cold storage* dan diuji menggunakan analisis efisiensi serta metode *Life-Cycle Cost Analysis* (LCCA) untuk mengevaluasi biaya total sistem.

Tabel 2. Simulasi *Mini Cold Storage*

No	Tanggal	Suhu awal	Suhu Akhir	Waktu
1	5 Juli 2025	33,6°C	23,1°C	3 jam 37 menit
2	18 Juli 2025	30,4°C	15,8°C	3 jam 39 menit



Gambar 1. Perbandingan Suhu dan Rentan Waktu

Percobaan pada tanggal 5 Juli 2025 dan 18 Juli 2025

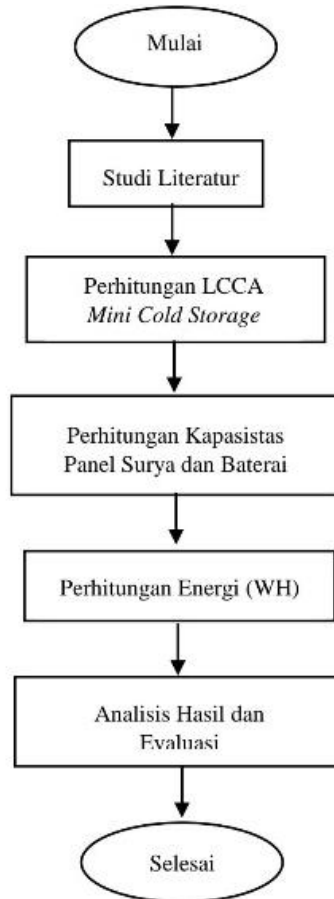
1. 5 Juli 2025: terjadi penurunan suhu sebesar $10,4^{\circ}\text{C}$ selama 217 menit.
2. 18 Juli 2025: terjadi penurunan suhu yang lebih besar yaitu $14,6^{\circ}\text{C}$ dalam waktu 219 menit.
3. Ini menunjukkan bahwa pada 18 Juli, pendinginan berlangsung lebih efektif, meskipun waktu pendinginan hanya berbeda 2 menit dari pengujian pertama.
4. Kondisi awal pada 5 Juli sedikit lebih tinggi ($33,6^{\circ}\text{C}$) dibandingkan 18 Juli ($30,4^{\circ}\text{C}$), namun hasil akhirnya menunjukkan sistem mampu menurunkan suhu lebih drastis pada pengujian kedua.



Gambar 2. Design Mini Cold Storage

Gambar tersebut menampilkan sebuah **prototipe sistem mini cold storage berbasis energi surya**. Sistem ini dirancang untuk menyimpan bahan makanan atau produk yang membutuhkan suhu rendah dalam kapasitas kecil, yaitu **5 liter**. Energi listrik yang dibutuhkan untuk mengoperasikan pendingin tidak berasal dari jaringan listrik PLN, melainkan dipasok langsung oleh **panel surya** yang terpasang pada rangka. Panel surya berfungsi menangkap energi radiasi matahari, kemudian energi tersebut diubah menjadi listrik dan disimpan pada **aki/baterai** yang diletakkan di bagian bawah rangka. Selanjutnya, energi listrik dari baterai digunakan untuk mengoperasikan komponen pendingin pada *mini cold storage*, sehingga suhu di dalam kotak penyimpanan dapat dijaga sesuai kebutuhan. Rangkaian sistem ini dibuat **portable** dengan tambahan roda, sehingga dapat dipindahkan dengan mudah mengikuti arah datangnya cahaya matahari untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi. Keunggulan utama dari *mini cold storage* ini adalah sifatnya yang **ramah lingkungan, hemat energi, dan mandiri tanpa ketergantungan pada listrik konvensional**. Dengan desain yang sederhana

namun fungsional, *mini cold storage* ini sangat potensial untuk digunakan di **daerah terpencil, pedesaan, atau lokasi dengan keterbatasan akses listrik**. Aplikasinya mencakup penyimpanan vaksin, obat-obatan, produk pertanian, hingga kebutuhan rumah tangga skala kecil yang memerlukan pendinginan stabil.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kebutuhan Energi

Perancangan kapasitas baterai dan panel surya sangatlah penting sebagai komposisi *mini cold storage* yang bertujuan untuk mengoperasikan *mini cold storage* secara terus-menerus dalam jangka waktu yang panjang. Perancangan dilakukan untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya mencukupi kebutuhan harian beban dan mampu disimpan secara efisien dalam baterai [8].

1. Energi harian dihitung sebesar

Jumlah energi yang dibutuhkan sistem *mini cold storage* untuk beroperasi selama 5 jam.

$$E = 100 \text{ Watt} \times 5 \text{ jam} = 500 \text{ Wh}$$

2. Efisiensi Panel Surya

Perancangan kapasitas baterai dan panel surya sangatlah penting sebagai komposisi *mini cold storage* yang bertujuan untuk mengoperasikan *mini cold storage* secara terus-menerus dalam jangka waktu yang panjang. Perancangan dilakukan untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya mencukupi kebutuhan harian beban dan mampu disimpan secara efisien dalam baterai [9].

Luas panel : 0,603 m²
 Output : 90,6 W
 Intensitas radiasi : 600 W/m²

$$I = \frac{P_{out}}{(intensitas \times A) \times 100\%} = \frac{90,6}{(600 \times 0,603) \times 100\%} = 25,04\% \approx 0,25$$

3. Kapasitas Baterai

Dengan DoD 90%

Sistem menggunakan 2 baterai 45Ah.

$$Kapasitas\ minimum = \frac{500\ Wh}{12\ V} = 41,6\ Ah \approx 42\ Ah$$

$$DoD\ 90\% = \frac{42\ Ah \times 90\%}{12V} = 37,8\ Ah \approx 38\ Ah$$

Untuk menambah margin keamanan dan operasional, digunakan 2 baterai/*modul peltier*.

$$\therefore 38\ Ah \times 2 = 76\ Ah$$

4. Kebutuhan Durasi Penyinaran

Rumus:

$$t = \frac{E_{load}}{Daya\ Luaran\ Panel\ Surya} = \frac{500\ Wh}{90,6} = 5,5\ jam$$

5. Daya Panel Surya

Rumus:

$$Daya\ Panel = \frac{E_{load}}{Durasi \times \eta} = \frac{500}{5 \times 0,25} = 25\ Wp$$

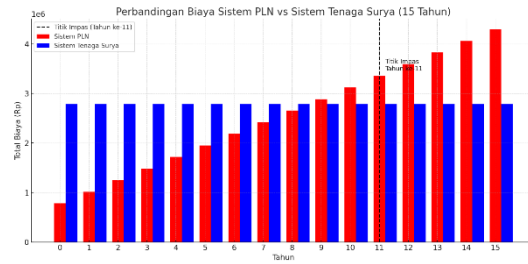
4.2. Simulasi Pendinginan

Simulasi operasi *mini cold storage* bertujuan untuk menguji apakah sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang telah dirancang mampu menyediakan energi secara optimal dan stabil untuk mengoperasikan *mini cold storage* berkapasitas 5 liter. Simulasi ini dengan pendekatan perhitungan harian, kapasitas penyimpanan baterai, kebutuhan energi untuk sistem *mini cold storage* dapat bekerja secara optimal.

1. 5 Juli 2025: 33,6°C → 23,1°C dalam 3 jam 37 menit
2. 18 Juli 2025: 30,4°C → 15,8°C dalam 3 jam 39 menit

Menunjukkan performa pendinginan efektif dan stabil.

Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)



Gambar 4. Perbandingan Biaya Energi Surya dan PLN

Grafik di atas menunjukkan perbandingan biaya penggunaan sistem PLN dengan sistem tenaga surya selama periode 15 tahun. Sumbu horizontal (X) merepresentasikan tahun ke-0 hingga tahun ke-15, sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan total biaya (Rp) yang dikeluarkan. Warna merah menggambarkan biaya penggunaan listrik dari PLN, sedangkan warna biru menunjukkan biaya dari sistem tenaga surya. Pada tahun-tahun awal, biaya sistem tenaga surya terlihat lebih tinggi karena adanya biaya investasi awal untuk pembelian panel surya, baterai, dan perangkat pendukung lainnya. Sebaliknya, biaya PLN masih lebih rendah pada awal periode karena hanya mencakup pembayaran tagihan bulanan tanpa investasi besar di awal.

Namun, seiring berjalannya waktu, biaya kumulatif listrik PLN meningkat secara signifikan setiap tahunnya akibat pembayaran rutin yang terus bertambah. Sementara itu, biaya sistem tenaga surya relatif stabil setelah investasi awal, hanya membutuhkan biaya perawatan yang lebih kecil. Titik penting dalam grafik ini adalah titik impas (*break-even point*) yang terjadi pada tahun ke-11. Pada tahun tersebut, total biaya penggunaan listrik dari PLN (merah) mulai melampaui total biaya penggunaan sistem tenaga surya (biru). Setelah titik ini, penggunaan sistem tenaga surya menjadi lebih ekonomis dibandingkan PLN, karena selisih biaya semakin besar di tahun-tahun berikutnya. Dengan demikian, grafik ini mengilustrasikan bahwa meskipun sistem tenaga surya memerlukan investasi awal yang cukup besar, dalam jangka panjang (lebih dari 11 tahun), sistem ini jauh lebih efisien, hemat biaya, dan berkelanjutan dibandingkan mengandalkan listrik dari PLN. Dalam konteks perancangan sistem pendingin berbasis energi surya, LCCA (*Life-Cycle Cost Analysis*) menjadi penting karena memungkinkan analisis perbandingan antara sistem pendingin konvensional (menggunakan listrik PLN) dengan sistem pendingin *hybrid* atau *off-grid* yang menggunakan energi baru dan terbarukan seperti panel surya. Walaupun investasi awal pada sistem energi surya cenderung lebih tinggi, namun biaya operasional jauh lebih rendah karena memanfaatkan sumber energi matahari [10].

1. Garis biru (energi surya): biaya tetap dengan harga Rp 2.791.000,00 dengan hanya biaya di awal tanpa biaya operasional tahunan
2. Garis merah (PLN): naik setiap tahunnya dengan adanya biaya operasional Rp 234.000,00
3. Garis hitam putus-putus: di tahun ke-11 menuju titik impas (*break-event point*). Pada titik ini, akumulasi biaya sistem PLN sudah melebihi biaya energi surya, dengan ini pada tahun ke-11 sistem energi surya menjadi lebih ekonomis dibanding dengan sistem PLN.

Sistem tenaga surya lebih ekonomis dalam jangka panjang, tanpa biaya operasional tahunan.

5. Kesimpulan

Sistem *mini cold storage* berbasis energi surya terbukti mampu bekerja efektif untuk kebutuhan pendinginan harian dengan konsumsi energi rendah. Performa pendinginan memadai dan efisiensi panel tinggi. Hasilnya menunjukkan suhu dapat diturunkan dari 30–33°C ke 15–23°C dalam waktu sekitar 3,5 jam, dengan efisiensi panel mencapai 25,04%. Berdasarkan analisis *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)*, sistem tenaga surya lebih ekonomis

dibandingkan sistem konvensional dalam jangka panjang, dengan *break-even point* pada tahun ke-11. Sistem ini dapat menjadi solusi efektif dan ramah lingkungan untuk kebutuhan penyimpanan dingin skala kecil di daerah terpencil. Berdasarkan hasil analisis, simulasi sistem, dan evaluasi sistem *mini cold storage* berbasis energi surya, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

- a. *Mini cold storage* kapasitas 5 liter membutuhkan energi sebesar 500 Wh per hari untuk dapat ber operasi selama 5 jam. Sistem panel surya 100 Wp dan baterai 12V 45Ah sebanyak 2 unit (total 76Ah) sudah sangat mencukupi kebutuhan dalam kondisi normal. Efisiensi panel surya terukur sebesar 25,04%, cukup baik untuk mendukung operasional sistem pendingin secara mandiri (*off-grid*).
- b. Dari hasil pengujian lapangan pada tanggal 5 Juli dan 18 Juli 2025, sistem berhasil menurunkan suhu dari 33,6°C ke 23,2°C dan 30,4°C ke 15,8°C dalam waktu 3 jam 37 menit dan 3 jam 39 menit. Ini menunjukkan bahwa sistem pendingin bekerja dengan efektif dan stabil, terutama pada pengujian kedua yang mencapai penurunan paling besar.
- c. Berdasarkan metode *life-cycle cost analysis*, investasi awal *mini cold storage* berbasis energi surya mencapai Rp 2.791.000,00 tanpa biaya operasional tahunan. Sementara sistem konvensional rumah (menggunakan listrik PLN) membutuhkan biaya awal dan biaya operasional tahunan sebesar Rp 234.000,00 per tahun. Titik impas (*break-event point*) tercapai pada tahun ke-11, dimana sistem tenaga surya menjadi lebih ekonomis dibandingkan sistem konvensional rumah berbasis PLN.
- d. Tantangan utama selama proses analisis sistem *mini cold storage* berbasis energi surya adalah ketergantungan pada intensitas matahari, terutama saat cuaca mendung atau hujan. Solusi yang diterapkan, penggunaan sistem penyimpanan atau baterai cadangan (*autonomy day*), perancangan efisiensi panel surya yang lebih tinggi, serta *design box* dengan isolasi termal yang baik untuk mempertahankan suhu dalam waktu yang lama.

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang diperoleh, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan serta peluang untuk melakukan pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu saran pada penelitian ini adalah

- a. Sistem *mini cold storage* membutuhkan pengembangan lebih lanjut dengan memperbesar penyimpanan (misalnya 10-20 liter) serta pengujian penggunaan modul pendingin alternatif seperti kompresor mini atau teknologi *hybrid* untuk peningkatan pendinginan pada *box*.
- b. Integrasi sensor suhu, kelembaban, dan sistem *monitoring* berbasis IoT akan mengontrol dan efisiensi operasional yang lebih baik, terutama untuk pengawasan suhu jarak jauh di daerah terpencil.
- c. Sistem penyimpanan energi sebaiknya dirancang untuk mendukung minimal 2 hari otonomi guna mengantisipasi cuaca buruk berhari-hari.

Referensi

- [1] Nurjaman Hendi Bagja and Purnama Trisna, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," *J. Edukasi Elektro*, vol. Volume 06, no. 02, pp. 136–142, 2022.
- [2] Nurjaman Hendi Bagja and Purnama Trisna, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," *J. Edukasi Elektro*, vol. Volume 06, no. 02, pp. 136–142, 2022.
- [3] A. Kharisma, S. Pinandita, and A. E. Jayanti, "Literature Review : Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik," 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.23956.
- [4] H. Suropto and A. Fathoni, "Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Ekonomi; Sebuah Review Berdasarkan Studi Literatur di Indonesia," *J. APTEK Artik. Ilm. Apl. Teknol.*, vol. 13, no. 1, pp. 33–41, 2021.
- [5] M. A. Adhiem, S. H. Permana, and B. M. Faturahman, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya bagi Pembangunan Berkelanjutan*. Publica Indonesia Utama, 2021.
- [6] R. Salman, "Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Untuk Perumahan (Solar Home System)," *Maj. Ilm. Bina Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 46–51, 2013.
- [7] O. Zebua and Z. Huda, "Analisis Kelayakan Ekonomi dan Self-Consumption dari PLTS On-grid dan Hibrid Kapasitas 1328 kWp," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 41–49, 2024.
- [8] M. F. Hiswandi, F. Iswahyudi, and W. M. Soeroto, "Analisis Kelayakan investasi pembangkit listrik tenaga surya atap dengan sistem on-grid di pabrik minuman siap saji," *Sebatik*, vol. 27, no. 1, pp. 22–29, 2023.
- [9] T. T. Gultom, "Triple Energi Terbarukan Untuk Cold Storage Pada Kapal Penangkapan Ikan," pp. 129–133, 2023.
- [10] Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta, "Laporan Akhir Kegiatan Pemantauan Kualitas Udara Provinsi DKI Jakarta Tahun 2024," p. 259, 2024.
- [11] P. Ruang, P. Karkas, A. Broiler, and S. E. Hibrida, "JURNAL T eknik M esin," vol. 17, no. 2, pp. 155–163, 2024.
- [12] Ahmad, S., & Pratama, R. (2021). Rancang Bangun Mini Cold Storage Tenaga Surya Kapasitas 10 Liter untuk Penyimpanan Ikan. *Jurnal Teknik Energi*, 15(2), 45-52.
- [13] Ashrae. (2018). ASHRAE Handbook: Refrigeration. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [14] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [15] Klein, S. A. (2022). TRNSYS 18: A Transient System Simulation Program. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.
- [16] Sopian, K., & Othman, M. Y. (2019). The Potentials of Solar Photovoltaic Systems for Cooling Applications. *International Journal of Photoenergy*, 2019, Article ID 6917302.
- [17] Wijaya, F. D., & Hadi, S. (2020). Analisis Termal pada Box Penyimpanan Dingin Berbahan Polystyrene dan Polyurethane. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(2), 89-98.