

Rancang Bangun Mini Cold Storage Kapasitas 5L Berbasis Energi Surya

Amma Muliya Romadoni^{1*}, Cakra Wijaya²

1. Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta; e-mail : amma.muliya@uta45jakarta.ac.id
2. Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta; e-mail : Cakrawijaya1256@gmail.com

penulis : Amma Muliya Romadoni

Abstract: This study discusses the design of a 5-liter solar-powered mini cold storage utilizing the TEC112706 Peltier thermoelectric module as a cooling system. The background of this study is the need for an environmentally friendly and energy-efficient portable cooling solution, especially for Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs). Based on the results of thermal calculations, the heat transfer load through the insulating wall is 0.81 W. The system is designed using a 100 WP solar panel, a 12V 45Ah battery, a solar charge controller, and a carbon steel frame structure. The research process includes design planning using Onshape software and frame strength analysis with SolidWorks, followed by prototyping and cooling performance testing. The test results show a temperature decrease of 10.5°C in 3 hours 37 minutes and 14.6°C in 3 hours 39 minutes, proving that the thermoelectric cooling system can function effectively even without conventional refrigerants. The entire system is proven to be safe, energy efficient, and supports the concept of utilizing renewable energy. This mini cold storage has the potential to be a practical solution for small-scale storage needs, especially in areas with limited electricity supply.

Keywords: Mini cold storage; solar energy; thermoelectric; Peltier; portable cooler.

Abstrak: Penelitian ini membahas rancang bangun mini cold storage berkapasitas 5 liter berbasis energi surya dengan memanfaatkan modul termoelektrik Peltier TEC112706 sebagai sistem pendingin. Latar belakang penelitian ini adalah kebutuhan akan solusi pendingin portabel yang ramah lingkungan dan hemat energi, terutama bagi pelaku Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM). Berdasarkan hasil perhitungan termal, beban perpindahan panas melalui dinding isolasi sebesar 0,81 W. Sistem dirancang menggunakan panel surya 100 WP, baterai 12V 45Ah, solar charge controller, serta struktur rangka berbahan baja karbon. Proses penelitian meliputi perancangan desain menggunakan perangkat lunak Onshape dan analisis kekuatan rangka dengan SolidWorks, dilanjutkan pembuatan prototipe dan pengujian kinerja pendinginan. Hasil uji coba menunjukkan penurunan suhu sebesar 10,5°C dalam 3 jam 37 menit dan 14,6°C dalam 3 jam 39 menit, membuktikan bahwa sistem pendingin termoelektrik dapat berfungsi efektif meskipun tanpa refrigeran konvensional. Keseluruhan sistem terbukti aman, hemat energi, serta mendukung konsep pemanfaatan energi terbarukan. Mini cold storage ini berpotensi menjadi solusi praktis untuk kebutuhan penyimpanan skala kecil, khususnya di daerah dengan keterbatasan pasokan listrik.

Kata kunci: Mini cold storage; energi surya; termoelektrik; Peltier; pendingin portabel.

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

Seiring perkembangan zaman, energi listrik semakin diperlukan. Karena semakin banyak alat-alat yang menunjang aktivitas manusia menggunakan listrik. Hal ini perlu diimbangi dengan kebutuhan listrik yang memadai. Selama ini kebutuhan sumber energi listrik di Indonesia menggunakan sumber energi fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Sumber energi tersebut memiliki dampak negatif yaitu pembakaran dan eksploitasi bahan bakar fosil menjadi penyumbang utama emisi CO₂, yang menyebabkan pemanasan global, pencemaran udara, serta kerusakan ekosistem yang sulit dipulihkan [1].

Sumber energi yang dapat diperbarui dan tidak mencemari lingkungan salah satunya yaitu energi matahari melalui perancangan pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS [2]. Pada penelitian ini, penulis akan menggunakan energi alternatif untuk membuat sistem pendingin yang disebut *cold storage* dengan memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Cold storage adalah suatu sistem yang digunakan untuk menyimpan barang pada suhu rendah agar daya tahan dan kualitasnya tetap terjaga. Dalam aplikasinya, *cold storage* memanfaatkan prinsip kerja sistem refrigerasi dan termoelektrik (seperti modul peltier) yang dapat dikembangkan secara portabel dan hemat energi [3]. Penulis tidak menggunakan refrigeran karena merupakan zat yang memiliki kekurangan yaitu merusak lapisan ozon, sehingga dapat menimbulkan pemanasan global. Sedangkan peltier dapat digunakan sebagai pendingin tanpa mencemari lingkungan [4].

Dalam penelitian ini, akan dirancang *mini cold storage* kapasitas 5 liter yang memanfaatkan modul peltier TEC1-12706 sebagai sistem pendingin dan panel surya sebagai sumber energi utama. Proyek ini menggabungkan prinsip-prinsip dasar termodinamika, konversi energi, dan perancangan sistem mekanik yang merupakan bagian dari kompetensi di bidang teknik mesin

2. Tinjauan Literatur

2.1. Cold Storage

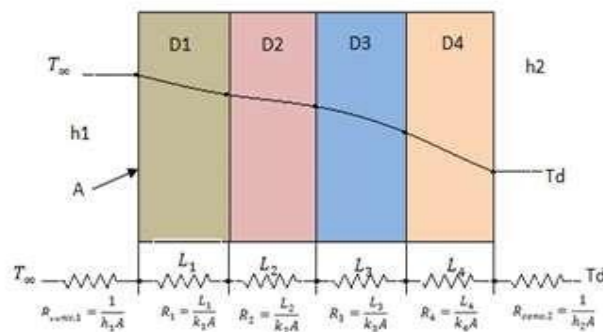
Cold Storage adalah sistem penyimpanan bersuhu rendah yang digunakan untuk memperlambat pembusukan serta menjaga mutu makanan dan minuman. Penyimpanan dalam kondisi suhu rendah mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme serta memperlambat reaksi kimia yang berpotensi merusak produk [5].

2.2. Sistem Termoelektrik

Termoelektrik memanfaatkan dua material semikonduktor berbeda yang ketika dialiri listrik, akan menciptakan perbedaan suhu di dua sisi modul. Satu sisi modul menjadi dingin karena menyerap panas dari lingkungan, sementara sisi lainnya menjadi panas karena melepaskan panas atau disebut efek peltier [6].

2.3. Perhitungan Perpindahan Panas

Beban pendinginan dapat dibagi menjadi beban internal (produk) dan beban eksternal (lingkungan). Beban panas dari luar Q^∞ berasal dari konduksi udara luar dengan dinding, dapat dilihat pada Gambar 2. 1 [7].



Gambar 1. Skema Perpindahan panas melalui Dinding styrofoam

Besarnya beban panas dari luar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{\infty} = U \times A \times \Delta T$$

ΔT adalah perbedaan temperatur antara temperatur lingkungan (T_{∞}) dan temperatur dalam ruang pendingin (T_d). Nilai U adalah koefisien perpindahan panas total yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A} + \frac{1}{h_2 A}}$$

Konduktivitas termal bahan $k_{1,2}$ dan k_3 adalah untuk EPS, PU Foam dan aluminium dengan ketebalan masing-masing L_1 , L_2 dan L_3 . Koefisien konveksi alamiah h_1 dan h_2 dihitung masing-masing dengan menggunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{k}{L_c} \left[0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}} Pr^{\frac{1}{8}}}{[1 + 0,429/Pr]^{\frac{1}{4}} [16]} \right]^2$$

Nilai Q_{luar} adalah perpindahan panas konveksi bebas dari lingkungan ke dinding luar pendingin minuman *portable*, sedangkan nilai Q_{dalam} adalah perpindahan panas konveksi bebas dari dinding dalam permukaan box pendingin dan pemanas keruang pendingin. Perpindahan panas Q_{luar} dan Q_{dalam} dihitung masing-masing dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = h \times A \times \Delta T$$

Koefisien perpindahan panas konveksi h dapat dihitung dengan mencari terlebih dahulu nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dan nilai *Nusselt Number* (Nu). Nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Berikut:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_{\infty}) L^3}{\nu^2} Pr$$

Untuk perpindahan panas konveksi pada dinding vertikal, nilai *Nusselt Number* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$h = \left[0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}} Pr^{\frac{1}{8}}}{[1 + 0,429/Pr]^{\frac{1}{4}} [16]} \right]^2$$

Setelah nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dan nilai *Nusselt Number* (Nu) diperoleh, maka nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{k}{L_c} Nu$$

2.4. Panel Surya

Panel surya bekerja berdasarkan prinsip fotovoltaik, yaitu proses mengubah energi cahaya menjadi energi listrik [8]. Teknologi ini menggunakan sel fotovoltaik yang biasanya terbuat dari silikon. Ketika cahaya matahari mengenai sel fotovoltaik, energi dari foton cahaya akan mengetuk elektron di dalam silikon, memungkinkan elektron tersebut untuk bergerak bebas dan menghasilkan arus listrik (Muallif, 2024).

2.5. Perancangan dan Analisis Struktur Rangka

Rangka merupakan salah satu komponen utama pada konstruksi *mini cold storage* yang berfungsi untuk menopang seluruh beban struktur. Struktur rangka terdiri atas elemen-elemen batang yang disambung satu sama lain pada ujungnya, membentuk kerangka kokoh yang berfungsi mendukung dan menyalurkan beban dan gaya yang bekerja pada suatu sistem. Dalam arti umum, rangka menunjukkan susunan bagian yang saling terhubung seperti kerangka bangunan atau kendaraan [9].

Dalam konteks *mini cold storage*, rangka berfungsi menahan bobot panel isolasi, sistem pendingin, serta beban lingkungan (seperti angin atau beban operasional), sambil mempertahankan integritas termal. Besi yang digunakan adalah besi siku L yang umum digunakan sebagai komponen rangka atau penopang beban. Material ini mudah dipotong, dibor, dan dilas, sehingga banyak diaplikasikan pada rangka sederhana,udukan mesin, dan konstruksi penopang lainnya. Besi siku memiliki kekuatan tekan yang tinggi dan tahan terhadap deformasi pada arah sumbu utamanya, sehingga cocok digunakan untuk rangka dengan beban statis maupun dinamis [10].

Metode penyambungan rangka merupakan teknik yang digunakan untuk menggabungkan dua atau lebih komponen rangka menjadi satu kesatuan yang kokoh dan mampu menahan beban. Pemilihan metode penyambungan dipengaruhi oleh jenis material rangka, beban kerja, ketahanan terhadap lingkungan, serta kemudahan proses perakitan. Dalam bidang teknik mesin, metode penyambungan umum yang digunakan meliputi penyambungan las, baut dan mur, serta ripet [11].

Metode Penyambungan yang digunakan menggunakan baut dan mur dengan menggunakan elemen pengikat ulir yang memungkinkan sambungan dibongkar-pasang. Metode ini cocok untuk konstruksi rangka yang membutuhkan perawatan atau penggantian komponen secara berkala. Kelebihannya adalah fleksibilitas dan kemudahan perbaikan, sementara kekurangannya adalah potensi longgar akibat getaran jika tidak menggunakan pengaman seperti ring pegas atau mur pengunci [12].

Dalam era rekayasa modern, analisis rangka banyak dibantu oleh perangkat lunak SolidWorks yang memiliki fitur SolidWorks *Simulation*. Modul ini memungkinkan analisis *Static Simulation* yang mencakup penentuan material, pembebanan, dan kondisi batas untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan pada struktur [13].

Tahapan umum analisis rangka dengan Solidworks meliputi :

1. Pembuatan Model 3D – Mendesain geometri rangka sesuai spesifikasi.
2. Penentuan Material – Mengatur sifat mekanis seperti modulus elastisitas, kekuatan tarik, dan densitas.
3. Pemberian Kondisi Batas – Menentukan tumpuan (*fixed, roller, hinge*) dan pembebanan (gaya, momen, atau tekanan).
4. Meshing – Membagi model menjadi elemen-elemen kecil untuk analisis numerik metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*).
5. Proses *Solving* – Menghitung respon struktur berdasarkan persamaan kesetimbangan dan sifat material.
6. Interpretasi Hasil – Meninjau kontur tegangan (*von Mises stress*), perpindahan maksimum, dan faktor keamanan.

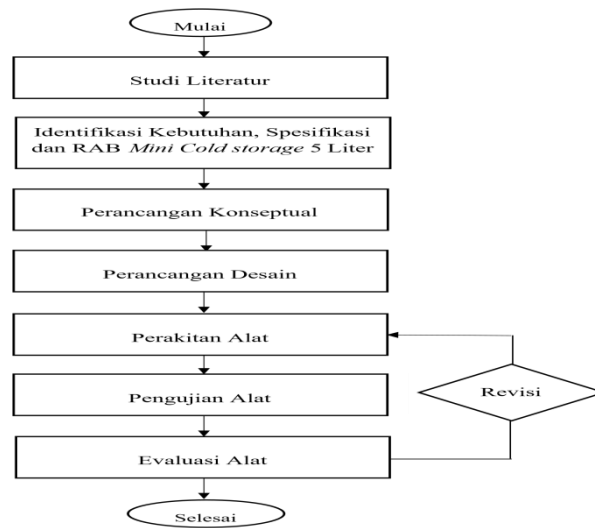
Metode ini efektif digunakan pada perancangan rangka *mini cold storage* karena mampu memprediksi titik kritis dan memastikan kekuatan struktur sebelum pembuatan fisik [13].

3. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen rekayasa (*Engineering design research*), yang bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah sistem pendingin *mini* yang memanfaatkan energi matahari sebagai sumber utama daya. Tujuannya untuk merancang dan membuat sistem pendingin portabel berbasis panel surya yang dapat bekerja secara efisien dan praktis. Lokasi penelitian dilakukan pada Lab Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta dengan periode waktu penelitian dari Mei 2025 - Juli 2025.

3.1. Alur penelitian

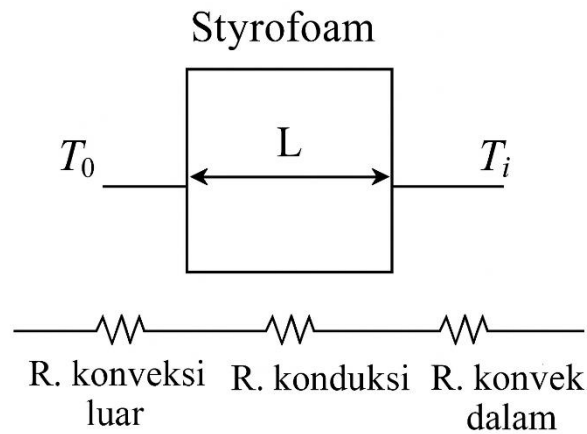
Alur penelitian ini dimulai dari studi literatur yang dilanjutkan dengan identifikasi kebutuhan, spesifikasi, dan RAB *Mini Cold storage* 5 Liter. Setelah itu proses perancangan konseptual, desain, perakitan alat, dan pengujian alat. Apabila saat evaluasi alat masih ada kekurangan, maka selanjutnya dilakukan revisi pada perakitan alat. Namun, jika saat evaluasi alat sudah sesuai, maka alat siap untuk digunakan dan penelitian selesai. Berikut gambar alur penelitian:



Gambar 2. *Flowchart*

3.2. Perhitungan Beban Pendinginan

Dalam merancang sistem pendingin *mini cold storage* berbasis modul termoelektrik (TEC1-12706), diperlukan perhitungan awal untuk menentukan kebutuhan beban pendinginan, laju perpindahan panas yang harus diatasi, serta estimasi daya pendinginan yang harus disuplai oleh modul Peltier. Perpindahan panas yang terjadi pada dinding styrofoam dapat di analogikan menggunakan rangkaian tahanan termal. Rangkaian ini terdiri dari tahanan konveksi pada dinding luar, tahanan konduksi pada dinding styrofoam, dan tahanan konveksi pada dinding dalam. Skema perpindahan panas tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Perpindahan panas melalui Dinding styrofoam

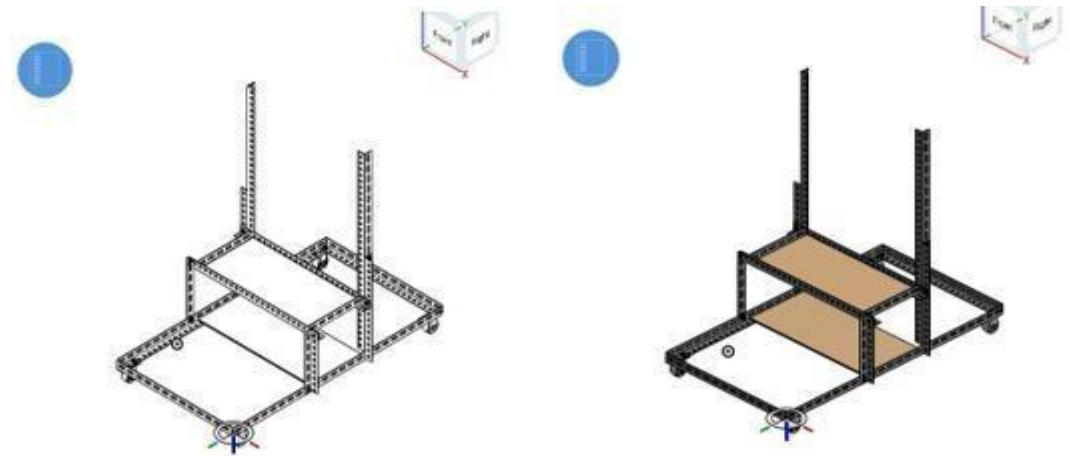
Dalam penelitian ini digunakan beberapa data awal sebagai dasar perhitungan perpindahan panas pada dinding styrofoam. Dada tersebut meliputi parameter fisis dan sifat termal yang ditunjukkan pada Tabel 1:

Tabel 1. Data Perhitungan Perpindahan Panas

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1.	Percepatan gravitasi	g	9.8	m/s ²
2.	Koefensi muai termal	β	0.0416	1/k
3.	Suhu permukaan luar styrofoam	T_s	307	K
4.	Suhu lingkungan	T_{∞}	306	K
5.	Suhu dalam	T_i	288	K
6.	Lebar dinding styrofoam	L	0,02	m
7.	Konduktivitas termal	k	0,025510	W/m-K
8.	Viskositas kinematik	ν	0,000015620	m ² /s
9.	Bilangan prandtl	Pr	0,729600	-
10.	Luas Permukaan	A	0,195	m ²

3.3. Perancangan Desain

Perancangan desain menggunakan *software* Onshape dengan membuat tiap *part* seperti besi rak siku, roda, baut dan mur yang kemudian di *assembly* tiap *part* menjadi desain rangka *mini cold storage* kapasitas 5 liter. Setelah itu dilakukan analisis rangka menggunakan *software* Solidworks 2021 dengan berat total yang ditanggung oleh rangka adalah 36,1Kg.

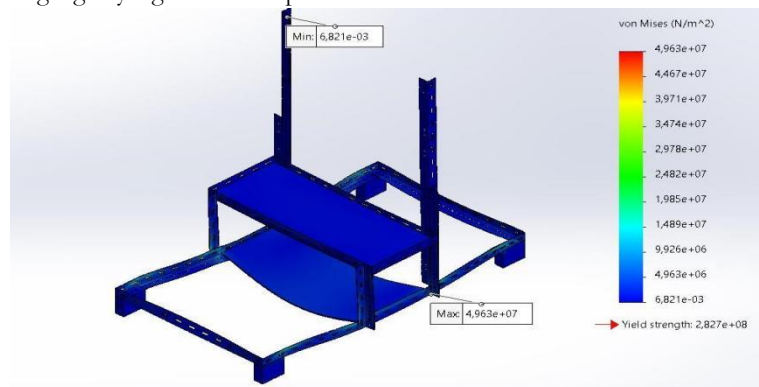


Gambar 4. Desain Rangka Mini Cold Storage

4. Hasil dan Pembahasan

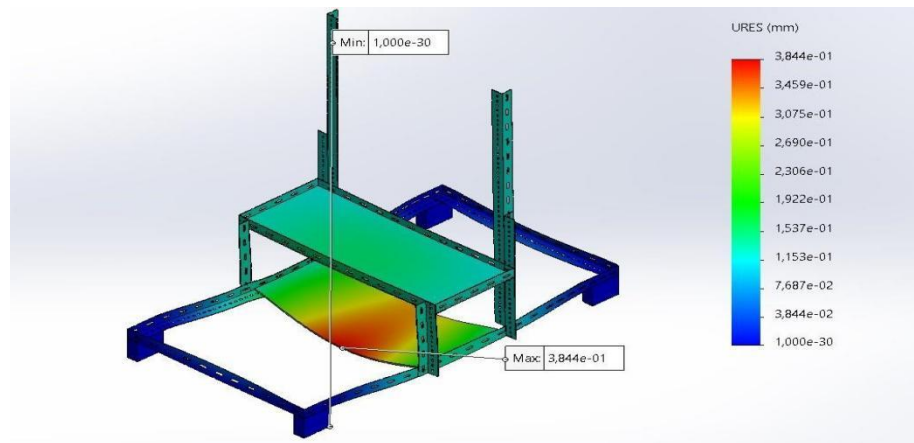
4.1. Analisis Kekuatan Struktur Rangka *Mini Cold Storage*

Berdasarkan hasil simulasi struktur rangka dengan beban total 36,1 Kg (Gambar 4.1), dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada rangka sebesar $4,963 \times 10^7 \text{N/m}^2$ atau 49.63N/m^2 . Tegangan yang timbul masih sangat jauh di bawah batas luluh (*yield strength*) material, yaitu $282,68 \text{N/mm}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan bekerja dalam kondisi aman dan tidak mengalami resiko deformasi permanen. Distribusi tegangan yang merata pada bagian utama rangka mengindikasikan bahwa desain struktur mampu mendistribusikan beban secara optimal tanpa menimbulkan tegangan yang berlebihan pada satu titik.



Gambar 5. Hasil Analisis *Von Mises*

Berdasarkan hasil simulasi (Gambar 4.2) nilai perpindahan maksimum yang terjadi adalah sebesar $3,844 \times 10^{-1} \text{mm}$ atau $0,3844 \text{mm}$, yang ditunjukkan dengan warna merah pada skala warna. Perpindahan minimum sebesar $1,000 \times 10^{-30} \text{mm}$ yang secara praktis dapat di anggap sebagai 0mm , ditunjukkan pada warna biru. Nilai perpindahan maksimum $0,3844 \text{mm}$ tergolong kecil jika di dibandingkan dengan dimensi keseluruhan struktur. Secara keseluruhan, hasil analisis deformasi menunjukkan bahwa desain rangka yang digunakan memiliki tingkat kestabilan yang memadai terhadap pembebanan yang diberikan yaitu $36,1 \text{Kg}$.



Gambar 6. Hasil Analisis Deformasi Total

4.2. Beban Pendingin Mini Cold Storage

Langkah pertama adalah menghitung koefisien perpindahan panas konveksi h_o dapat dihitung dengan mencari terlebih dahulu nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Berikut:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_L = \frac{9.8 \times 0.0416 (307 - 306) 0,02^3}{0,000015620} 0,729600$$

$$Ra_L = 9752.863806$$

Sedangkan untuk koefisien perpindahan panas konveksi h_i dapat dihitung dengan mencari terlebih dahulu nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Berikut:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta (T_\infty - T_i) L^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_L = \frac{9.8 \cdot 0.0416 (306 - 288) 0,02^3}{0,000015620} 0,729600$$

$$Ra_L = 175551,5$$

Untuk perpindahan panas konveksi pada h_o , nilai *Nusselt Number* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Nu = [0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + 0,429/Pr]^{1/4}} Pr]^{1/4}$$

$$Nu = [0,825 + \frac{0,387 \times 9752.863806^{1/6}}{[1 + 0,429/0.7296]^{1/4}} \times 0.7296]^{1/4}$$

$$Nu = 5.638637234$$

Perpindahan panas konveksi pada h_i , nilai *Nusselt Number* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Nu = [0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + 0,429/Pr]^{1/4}} Pr]^{1/4}$$

$$Nu = [0,825 + \frac{0,387 \times 175551,5^{1/6}}{[1 + 0,429/0,7296]^{1/4}} \times 0,7296]^2$$

$$Nu = 11.27529$$

Setelah nilai *Rayleigh Number (RaL)* dan nilai *Nusselt Number (Nu)* diperoleh, maka nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h_o) dan (h_i) dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$h_o = \frac{k}{L} Nu$$

$$h_o = \frac{0,03}{0,02} \times 5.638637234$$

$$h_o = 8.45800985 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

$$h_i = \frac{k}{L} Nu$$

$$h_i = \frac{0,03}{0,02} \times 11.27529$$

$$h_i = 16.91293 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

Nilai U adalah koefisien perpindahan panas total yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o \cdot A} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_i \cdot A}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{8.45800985 \times 0,195} + \frac{0,03}{0,03 \times 0,195} + \frac{1}{16.91293 \times 0,195}}$$

$$U = 0,231036048 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

Besarnya beban panas dari luar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{\infty} = U \times A \times \Delta T$$

$$Q_{\infty} = 0,231036048 \times 0,195 \times 18$$

$$Q_{\infty} = 0,810936527 \text{ Watt}$$

Jadi beban perpindahan panas adalah 0,810936527 Watt

4. 3. Pembuatan *Mini Cold Storage*

Struktur rangka *mini cold storage* memakai besi rak siku lubang yang berukuran 36mm x 36mm, dengan ketebalan 1,8mm menggunakan sambungan baut dan mur dengan ukuran 10 mm. Besi rak siku dipotong menggunakan gerinda tangan sesuai dengan ukuran desain rangka *mini cold storage* seperti pada gambar



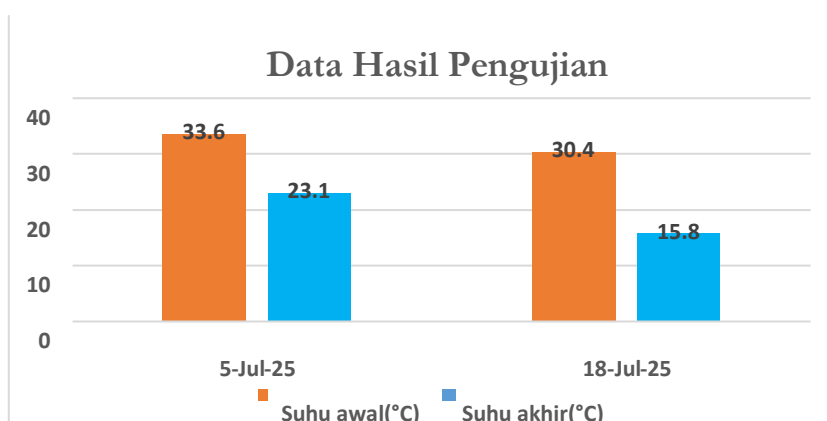
Gambar 7. *Mini Cold Storage* Kapasitas 5 Liter

4.4. Hasil Pengujian *Mini Cold Storage*

Berdasarkan hasil upengujian terdapat penurunan suhu sebesar 10,5°C yang terjadi selama 3 jam 37 dengan suhu awal 33,6°C menjadi 23,1°C. Pada pengujian kedua selama 3 jam 39 menit mengalami penurunan suhu 14,6°C dari 30,4°C menjadi 15,8°C.

Tabel 2. Hasil Pengujian

No.	Tanggal Pengujian	Temperatur Lingkungan	Suhu Awal	Suhu Akhir	Penurunan Suhu
1.	5 Juli 2025	34,5°C	33,6°C	23,1°C	10,5°C
2.	18 Juli 2025	31,6°C	30,4°C	15,8°C.	14,6°C



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian *Mini Cold Storage* Kapasitas 5 Liter

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian *Mini Cold Storage* kapasitas 5 liter berbasis energi surya, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Pengujian menunjukkan penurunan suhu sebesar 10,4°C dalam 3 jam 37 menit dan 14,6°C dalam 3 jam 39 menit. Hal ini membuktikan bahwa sistem pendingin termoelektrik dapat bekerja optimal untuk skala kecil meskipun tanpa refrigeran konvensional.
- b. *Mini cold storage* menggunakan sumber energi utama dari panel surya 100 WP, baterai 12V 45Ah, dan modul Peltier TEC1-12706. Struktur rangka berbahan baja karbon terbukti aman dengan hasil analisis SolidWorks menunjukkan tegangan dan deformasi jauh di bawah batas aman material.
- c. Kombinasi panel surya, *solar charge controller*, dan baterai mampu mensuplai daya ke modul Peltier secara berkelanjutan selama pengujian, mendukung konsep energi terbarukan dan portabilitas alat.

Referensi

- [1] Zagita, T., Pitaloka, B. T., Kaunang, R. M., & Ida, G. I. (2025). Energi Fosil di Era Modern: Pemanfaatan, Dampak Negatif, dan Alternatif Energi Terbarukan. *Jurnal Solutiva*, 1, 1–8.
- [2] Ramadhan, G., Yusuf, M. I., Marpaung, J., Hiendro, A., & Imansyah, F. (2022). Rancangan Bangun Data Logger Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6, 136–142.
- [3] Fitriaji, A. A., Anoor, A. A., Alhabsyie, M. I., & Surya, A. (2021). Cold Storage Dengan Sistem Kompresor Backup Untuk Penyimpanan Vaksin Cold Storage with Backup Compressor System for Vaccine Storage. *Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 2, 99–107.
- [4] Sukarjadi, Supriyono, Y., & Mahendra, F. R. (2020). Perancangan Box Pendingin Minuman Menggunakan Peltier Berbasis Mikrokontroler (Arduino). *Jurnal Bisnis & Teknologi Politeknik NSC Surabaya*, 21–25.
- [5] Putra, T. K., Karudin, A., Refdinal, & Fernanda, Y. (2024). Pembuatan Dan Pengujian Cold Storage Menggunakan Kombinasi Modul Termoelektrik Dan Mesin Kompresi Uap Berbasis Energi Matahari Menggunakan Solar Cell. *Jurnal Pendidikan Tambusai*.
- [6] Chavan, S. S., Avhad, S. P., & Chavan, S. R. (2022). Solar Based Thermoelectric Refrigerator Using Peltier Module. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*.
- [7] Aziz, A., Saputra, D. I., Mainil, A. K., & Mainil, R. I. (2022). Perancangan kotak pendingin dan pemanas menggunakan modul *thermoelectric cooling* sebagai sumber kalor. *Jurnal Mechanical*, 13(1), 1–9.
- [8] Gaos, Y. S., & Rifky. (2021). Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC). *Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*.
- [9] Saleh, A., & Muhammad, D. A. (2020). Analisis dan Perancangan Rangka Mesin Pemotong Kentang Otomatis. *TEDC*, 14(2), 153–158.
- [10] Ramadhan, A., Putra, B., & Wijaya, S. (2021). Analisis Kekuatan Rangka Menggunakan Besi Siku Untuk Aplikasi Industri. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(2), 45–53.
- [11] Nurdin, H., AmSbiyar, & Waskito. (2020). *Perencanaan Elemen Mesin*.
- [12] Paisal, P. (2023). Analisis Kekuatan Sambungan Baut yang Searah dan Melintang Gaya Batang. *Jurnal Mechanical Engineering*, 1(1), 42–47.
- [13] Kurowski, P. M. (2021). *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2021*.
- [14] Ahmad, S., & Pratama, R. (2021). Rancang Bangun Mini Cold Storage Tenaga Surya Kapasitas 10 Liter untuk Penyimpanan Ikan. *Jurnal Teknik Mesin dan Energi Terbarukan*, 12(3), 45-52.
- [15] Datta, P., & Tassou, S. A. (2020). Design and Experimental Analysis of a Small-Scale Solar-Powered Cold Storage Unit. *International Journal of Refrigeration*, 118, 432-441.
- [16] Guntur, A., & Sari, D. P. (2020). Simulasi Performa Sistem Photovoltaic untuk Penggerak Kompresor DC pada Kulkas Portable. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Energi*, 4(1), 23-30.