



SIMULASI FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA) PADA RANGKA PORTABLE MINI COLD STORAGE MENGGUNAKAN SOFTWARE SOLIDWORKS 2021

Cakra Wijaya

Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

Amma Muliya Romadoni

Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

Alamat: Jl. Sunter Permai Raya, Sunter Agung, Jakarta Utara

Korespondensi penulis: cakrawijaya1256@gmail.com

Abstrak. *Cold storage is a low-temperature storage system used to slow down decay and maintain the quality of food and beverages. If the temperature is not controlled, product damage can occur more quickly even if the storage time is short. This study aims to perform a frame analysis on a 5 L capacity portable mini cold storage using the Finite Element Analysis (FEA) technique. Solidworks software was used to perform FEA simulations on the portable mini cold storage frame. Based on the simulation results, it was found that the maximum stress that occurred was only $4.963 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ or 49.63 N/mm^2 below the yield strength of the material, which is 282.68 N/mm^2 with a total load of 36.1 kg. This shows that the design is proven to be safe and does not risk permanent deformation.*

Keywords: *Cold Storage, Finite Element Analysis, Solidworks, Frame Analysis*

Abstrak. *Cold Storage* adalah sistem penyimpanan bersuhu rendah yang digunakan untuk memperlambat pembusukan serta menjaga mutu makanan dan minuman. Jika suhu tidak dikendalikan, kerusakan produk dapat terjadi lebih cepat meskipun waktu penyimpanan singkat. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis rangka pada *portable mini cold storage* kapasitas 5 L dengan menggunakan teknik *Finite Element Analysis* (FEA). Software solidworks digunakan untuk melakukan simulasi FEA pada rangka *portable mini cold storage*. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi hanya sebesar $4,963 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau $49,63 \text{ N/mm}^2$ di bawah batas luluh (*yield strength*) material, yaitu $282,68 \text{ N/mm}^2$ dengan beban total 36,1 Kg. Hal ini menunjukkan bahwa desain terbukti aman dan tidak berisiko mengalami deformasi permanen.

Kata Kunci: *Cold Storage, Finite Element Analysis, Solidworks, Analisis Rangka*

PENDAHULUAN

Cold storage adalah sistem yang digunakan untuk menyimpan barang dengan suhu dingin agar daya tahan dan kualitas barang tetap baik. Dalam penerapannya, *cold storage* memakai prinsip kerja dari sistem pendingin refrigerasi dan termoelektrik, seperti modul peltier, yang bisa dikembangkan menjadi versi portabel dan hemat energi (Fitriaji et al., 2021). Penelitian ini akan membuat *mini cold storage* menggunakan sistem pendingin berbasis termoelektrik atau peltier. Peneliti tidak menggunakan refrigeran karena zat tersebut memiliki kelemahan, yaitu merusak lapisan ozon dan menyebabkan pemanasan global. Berbeda dengan refrigeran, peltier bisa digunakan sebagai alat pendingin tanpa mencemari lingkungan (Sukarjadi et al., 2020). Oleh karena itu, peltier sangat cocok untuk digunakan karena tidak merusak lingkungan.

Selain itu, pembuatan *mini cold storage* memiliki nilai penerapan yang tinggi, terutama bagi para pelaku usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) yang membutuhkan sistem penyimpanan yang mudah dibawa dan hemat energi agar bisa menjaga kualitas produk mereka saat penyimpanan. Karena itu, dibutuhkan *portable mini cold storage* agar memudahkan pelaku UMKM dalam menyimpan produk mereka, dengan menggunakan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat *mini cold storage* dengan kapasitas 5 liter yang menggunakan modul peltier TEC1-12706 sebagai alat pendingin dan panel surya sebagai sumber tenaga utamanya. Proyek ini melibatkan prinsip dasar termodinamika, cara mengubah energi, serta desain sistem mekanik, yang merupakan bagian dari kemampuan di bidang teknik mesin. Dengan melakukan penelitian dan pengembangan ini, diharapkan bisa dibuat prototipe *mini cold storage* berkapasitas 5 liter yang menggunakan tenaga surya, menghemat energi, mudah dipasang, biayanya murah, dan bisa menjadi solusi praktis untuk berbagai kebutuhan pendinginan dengan sumber energi yang bisa diperbarui.

Oleh karena itu, analisis rangka untuk *portable mini cold storage* perlu dilakukan dengan menggunakan teknik *Finite Element Analysis* (FEA). *Finite Element Analysis* (FEA) penting karena memberikan pengujian digital yang tepat dan menyeluruh terhadap kekuatan dan efisiensi struktur rangka, sehingga memastikan *portable mini cold storage* tersebut tahan, ringan, dan aman digunakan serta diangkut dalam berbagai kondisi. Pada penelitian ini, software Solidworks 2021 digunakan untuk melakukan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) pada *portable mini cold storage*.

KAJIAN TEORITIS

Cold Storage

Cold Storage adalah ruangan atau fasilitas berinsulasi termal yang dirancang untuk mempertahankan suhu tertentu, biasanya pada tingkat rendah (di atas atau di bawah titik beku air), untuk tujuan memperlambat kerusakan biologis dan kimia pada produk yang disimpan. Fungsi utama *Cold Storage* yaitu:

- Memperpanjang Masa Simpan (*Shelf Life*): Suhu rendah secara signifikan memperlambat laju respirasi (pada produk segar seperti buah dan sayur) dan mengurangi aktivitas metabolisme.
- Menjaga Kualitas Produk: Mempertahankan tekstur, warna, nutrisi, dan rasa asli dari produk (misalnya, daging, ikan, produk farmasi).
- Menghambat Pertumbuhan Mikroorganisme: Suhu dingin menghambat pertumbuhan bakteri, jamur, dan mikroorganisme lain yang menyebabkan pembusukan.
- Mendukung Rantai Dingin (*Cold Chain*): Menjamin bahwa produk tetap berada dalam suhu ideal yang berkelanjutan dari produsen, transportasi, hingga konsumen.

Mini cold storage adalah penyimpanan berpendingin berukuran kecil atau ringkas yang dirancang untuk menjaga produk pada suhu rendah dalam jumlah terbatas. Secara umum, mini cold storage memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Ukuran dan Kapasitas : Berkapasitas kecil, biasanya mulai dari beberapa liter hingga beberapa meter kubik. Unit ini jauh lebih kecil dari cold storage atau gudang pendingin industri standar.
- Mobilitas (Portabel): Banyak unit mini cold storage dirancang untuk bersifat portabel (portable) atau semi-portabel. Artinya, unit ini mudah dipindahkan ke lokasi yang berbeda, seperti lokasi panen, tempat pengumpulan ikan, atau selama proses distribusi logistik.
- Fungsi: Sama seperti cold storage besar, fungsinya adalah memperlambat pembusukan, menghambat pertumbuhan mikroorganisme, dan menjaga kualitas serta kesegaran produk (seperti makanan, hasil laut, atau produk farmasi).
- Pengguna: Sering digunakan oleh Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM), nelayan, atau petani skala kecil yang membutuhkan solusi penyimpanan dingin yang fleksibel, hemat energi, dan memiliki investasi awal yang lebih rendah dibandingkan pembangunan gudang pendingin permanen.
- Teknologi: Selain menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap konvensional dalam skala kecil, banyak mini cold storage memanfaatkan teknologi pendingin alternatif seperti modul Termoelektrik (Peltier) untuk efisiensi dan ramah lingkungan.



Gambar 1. Mini Cold storage (www.shutterstock.com)

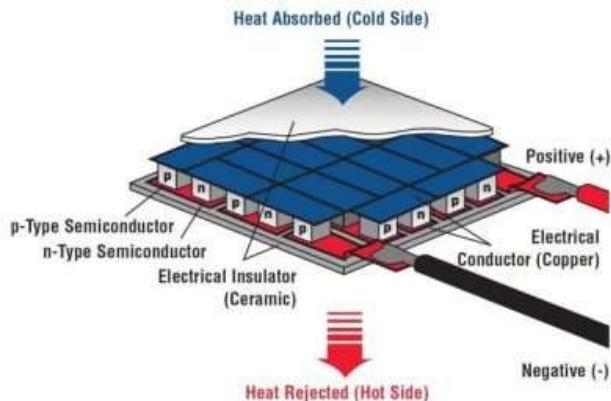
Modul Peltier

Modul Peltier (sering juga disebut *Thermoelectric Cooler* atau TEC) didasarkan pada Efek Peltier, yang ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834.1. Prinsip Dasar (Efek Peltier) yaitu ketika arus listrik mengalir melalui persimpangan (sambungan) dua material konduktor atau semikonduktor yang berbeda, panas akan diserap pada satu persimpangan (menciptakan sisi dingin) dan dilepaskan pada persimpangan lainnya (menciptakan sisi panas). Proses ini memungkinkan perpindahan panas tanpa adanya bagian bergerak (motor atau kompresor).

Sebuah modul Peltier terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

- Pasangan Semikonduktor: Terdiri dari banyak pasang semikonduktor tipe-N (kelebihan elektron) dan tipe-P (kekurangan elektron/kelebihan hole), yang biasanya terbuat dari material seperti Bismuth Telluride (Bi_2Te_3).
- Pelat Keramik: Pasangan semikonduktor ini diapit di antara dua pelat keramik (biasanya alumina) yang bertindak sebagai isolator listrik yang baik tetapi konduktor termal yang baik.
- Sambungan Seri: Pasangan semikonduktor tipe-N dan tipe-P disambungkan secara seri untuk memaksimalkan efek pendinginan dan pemanasan.

TEC biasanya digunakan untuk *mini cold storage/kotak pendingin portabel* yang digunakan untuk menjaga minuman, makanan, atau vaksin tetap dingin dalam skala kecil. Selain itu, TEC biasanya digunakan untuk pendinginan elektronik pada pendinginan CPU komputer, sensor inframerah, atau kamera beresolusi tinggi di mana kontrol suhu yang presisi sangat penting.



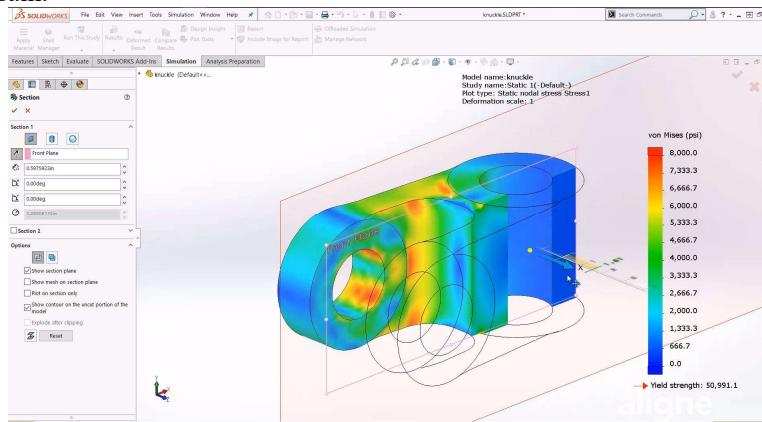
Gambar 2. *Thermoelectric Cooler* (www.bisinfotech.com)

Finite Element Analysis (FEA)

Finite Element Analysis (FEA), atau Analisis Elemen Hingga, adalah metode numerik yang digunakan untuk menemukan solusi perkiraan (*approximate solutions*) dari masalah teknik yang kompleks. Masalah-masalah ini umumnya dideskripsikan oleh Persamaan Diferensial Parsial (PDP), seperti analisis tegangan-regangan, perpindahan panas, atau aliran fluida. Kelebihan menggunakan analisis FEA yaitu :

- Validasi Desain: Memungkinkan pengujian virtual sebelum prototipe fisik dibuat, menghemat waktu dan biaya.
- Optimasi: Mengidentifikasi area yang terlalu kuat atau terlalu lemah, memungkinkan pengurangan berat dan material.
- Analisis Kompleks: Mampu menangani geometri, material non-linier, dan kondisi pembebaan dinamis/termal yang tidak mungkin diselesaikan secara manual.

Finite Element Analysis (FEA) di dalam *software Solidworks* dilakukan melalui modul yang disebut Solidworks Simulation. Solidworks Simulation adalah portofolio alat analisis struktural yang sepenuhnya terintegrasi dalam lingkungan 3D CAD Solidworks. Integrasi penuh ini menjadi keunggulan utama karena memastikan keakuratan data model dan kemudahan dalam pengujian desain.



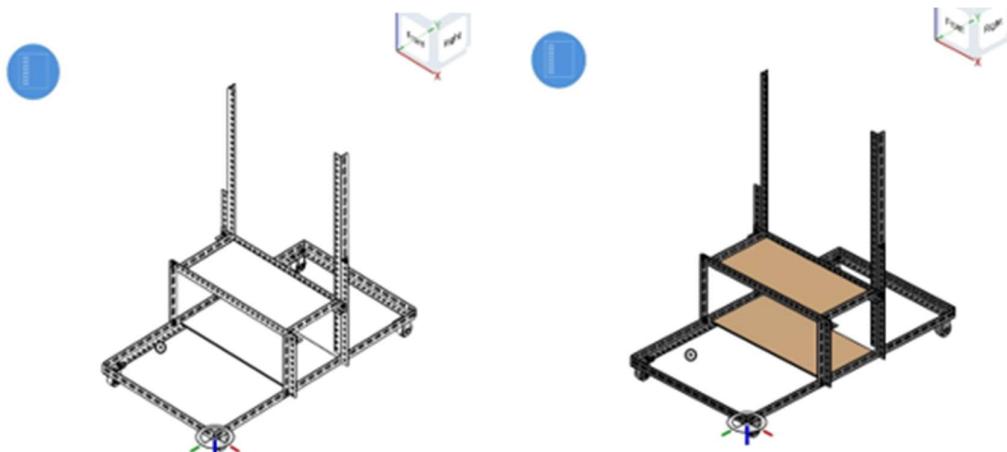
Gambar 3. *Finite Element Analysis* di Solidworks (www.blogs.solidworks.com)

METODE PENELITIAN

Rangka struktur *portable mini cold storage* dianalisis bebannya untuk mengetahui apakah rangka tersebut cukup kuat untuk menahan total keseluruhan bobotnya. Analisis rangka dilakukan dengan bantuan komputer dan *software solidworks 2021* yang bisa digunakan untuk menganalisis beban statis pada rangka. Beban statis pada rangka *portable mini cold storage* dianalisis untuk mengetahui titik kritis pada rangka tersebut ketika digunakan. Tujuannya untuk mengetahui kekuatan material yang digunakan pada rangka tersebut, apakah cukup kuat untuk menopang komponen saat stand ini digunakan dengan beban maksimal yang telah direncanakan. Material rangka yang digunakan adalah Baja Karbon.

Proses pengujian dengan menggunakan *solidworks* dilakukan untuk mengetahui kekuatan desain rancangan rangka yang akan dibuat, proses pengujian *solidworks* adalah pengujian analisis stress/strain, analisis displacement, dan analisis safety factor pada desain dengan asumsi beban total 36,1 kg .

Analisis distribusi tegangan beban statis dilakukan terhadap *portable mini cold storage* yang akan dibuat prototipe menggunakan tipe Von Misses Stress. Analisis dilakukan untuk mengetahui kekuatan rangka terhadap beban statis untuk mengetahui kekuatannya, agar aman dan kuat untuk digunakan. Data material yang digunakan diperoleh dari material *library software Solidworks 2021* digunakan ditunjukkan pada tabel 1.



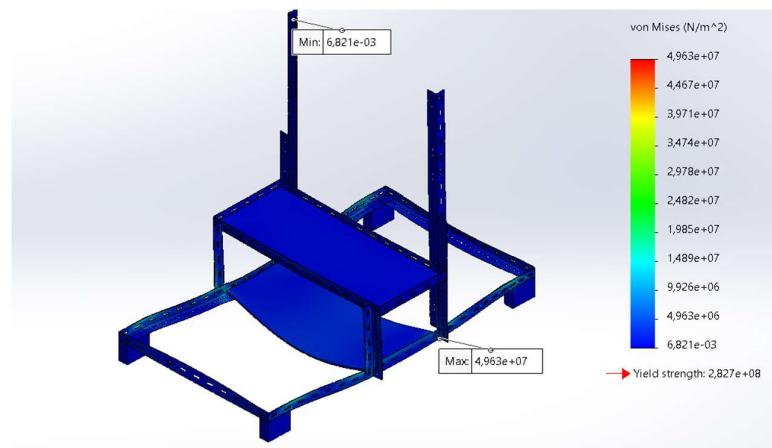
Gambar 4. Desain Rangka Mini Cold Storage
Tabel 1. Sifat Mekanik Material Baja Karbon

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Elastic Modulus</i>	204999.9984	N/mm ²
<i>Poisson's Ratio</i>	0.29	N/A
<i>Shear Modulus</i>	79999.99987	N/mm ²
<i>Mass Density</i>	7858.000032	Kg/m ³
<i>Tensile Strength</i>	425.0000032	N/mm ²
<i>Compressive Strength</i>		N/mm ²
<i>Yield Strength</i>	282.685049	N/mm ²
<i>Thermal Expansion Coefficient</i>	1.2e-05	/K
<i>Thermal Conductivity</i>	52	W/(m-K)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

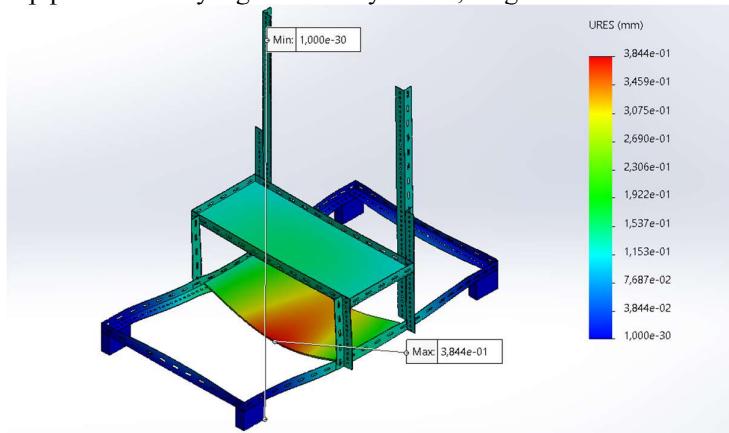
Analisis yang digunakan untuk kekuatan rangka *mini cold storage* menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Langkah pertama adalah mendefinisikan sifat mekanik material yang digunakan. Material rangka yang digunakan pada *mini cold storage* adalah baja karbon (*carbon steel*). Material ini umum digunakan dan dipakai pada konstruksi ringan seperti rak penyimpanan dan rangka mesin. Sifat mekanik material yang digunakan diperoleh dari material library software *Solidworks 2021*. Nilai-nilai ini menjadi parameter utama dalam perhitungan respon struktural terhadap pembebanan.

Berdasarkan hasil simulasi struktur rangka dengan beban total 36,1 Kg (Gambar 5), dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada rangka sebesar $4,963 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ atau $49,63 \text{ N/mm}^2$. 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 6) nilai perpindahan maksimum yang terjadi adalah sebesar $3,844 \times 10^{-1}$ mm atau 0,3844 mm, yang ditunjukkan dengan warna merah pada skala warna. Perpindahan minimum sebesar $1,000 \times 10^{-30}$ mm yang secara praktis dapat di anggap sebagai 0 mm, ditunjukkan pada warna biru. Nilai perpindahan maksimum 0,3844 mm tergolong kecil jika di bandingkan 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 Kg.



Gambar 6. Hasil Analisis Deformasi Total

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa analisis rangka *mini cold storage* menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan software Solidworks 2021 menunjukkan hasil yang sangat positif. Tegangan maksimum yang terjadi hanya sebesar $4,963 \times 10^7$ N/m² atau 49,63 N/mm² di bawah batas luluh (*yield strength*) material, yaitu 282,68 N/mm² dengan beban totsl 36,1 Kg. Hal ini menunjukkan bahwa desain terbukti aman dan tidak berisiko mengalami deformasi permanen. Selain itu, perpindahan maksimum (deformasi) yang terjadi sangat kecil, hanya $3,844 \times 10^{-1}$ mm atau 0,3844 mm, membuktikan bahwa rangka memiliki tingkat kestabilan yang memadai dan mampu mendistribusikan beban secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M., Rizal, T., & Syntia, R. (2021). Pengujian Kinerja Pendinginan Thermo Electric Cooling (TEC) Menggunakan Heatsink dengan Variasi Dimensi dan Jenis Material. *Jurutera*.
- Asiah, N., Cempaka, L., Ramadhan, K., & Matatula, S. (2020). *Prinsip Dasar Penyimpanan*

- Pangan Pada Suhu Rendah. CV Nas Media Pustaka.
- Fitriaji, A. A., Anoor, A. A., Alhabisyie, 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.
- Kurowski, P. M. (2021). *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2021*.
- Lubna, Sudarti, & Yushardi. (2020). Potensi Energi Surya Fotovoltaik. *Jurnal Pelita*, 76–79.
- Mirmanto, Syahrul, & Wirawan, M. (2021). *Teori Dasar dan Aplikasi Pendingin Termoelektrik (Pendingin Tanpa Freon)*.
- Mursal, & Azmi, N. (2022). *Fotovoltaik*. Syiah Kuala University.
- Ndobe Ebong, D., Aloyem Kaze, C. V., & Paiguy Ngouateu, A. (2022). Design and Implementation of Solar Powered Mini Refrigerator Using Thermoelectric Cooler Module. *E3S Web of Conferences*, 354, 1–5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235401007>
- 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*.
- Ramadhan, A., Putra, B., & Wijaya, S. (2021). Analisis Kekuatan Rangka Menggunakan Besi Siku Untuk Aplikasi Industri. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(2), 45–53.
- Saleh, A., & Muhammad, D. A. (2020). Analisis dan Perancangan Rangka Mesin Pemotong Kentang Otomatis. *TEDC*, 14(2), 153–158.
- Santoso, D., & Putra, R. (2023). Optimasi Penggunaan Baja Hollow Pada Strukstur Rangka Ringan. *Jurnal Material Dan Konstruksi*, 9(1), 12–20.
- Simajuntak, R. B., Safii, M., Anggraini, F., Sumarno, & Gunawan, I. (2021). Rancang Bangun Inverter Mengubah Arus Listrik DC ke AC Berbasis Arduino Uno. *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*.
- Sukarjadi, Supriyono, Y., & Mahendra, F. R. (2020). Perancangan Box Pendingin Minuman Menggunakan Peltier Berbasis Mikrokontroler (Arduino). *Jurnal Bisnis & Teknologi Politeknik NSC Surabaya*, 21–25.
- Zagita, T., Pitaloka, B. T., Kaunang, R. M., & Ida, G. I. (2025). Energi Fosil di Era Modern: Pemanfaaan, Dampak Negatif, dan Alternatif Energi Terbarukan. *Jurnal Solutiva*, 1, 1–8.