
UJI EKSPERIMENTAL KEMAMPUAN LEMARI PEMBEKU TERHADAP BEBAN PENDINGIN MENGGUNAKAN ENERGI MATAHARI

Sudirman Lubis

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Email: sudirmanlubis@umsu.ac.id

Munawar Alfansury Siregar

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Email: munawaralfansury@umsu.ac.id

Wawan Septiawan Damanik

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Email: wawanseptiawan@umsu.ac.id

ABSTRAK

Penerapan sistem refrigerasi pada sistem pendingin semakin ramai dibicarakan dan saat ini telah menjadi kebutuhan utama masyarakat. Klasifikasi dari penggunaan sistem pendingin bergantung dari kebutuhan sistem pendingin. Kebutuhan sistem pendingin berkaitan dengan beban pendingin yang mempengaruhi besar penggunaan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari beban pendingin terhadap tegangan energi listrik pada sistem dan konsumsi jumlah arus yang terpakai. Perancangan sistem pendingin dalam bentuk lemari pembeku disesuaikan dengan kapasitas dari sumber energi listrik yang diperoleh dari panel surya 400 WP. Penggunaan pompa refrigerasi direncanakan berkapasitas 1/4 PK dengan tujuan peningkatan efisiensi penggunaan energi. Pengujian dilakukan dengan membandingkan data penggunaan listrik PLN dan listrik bersumber dari panel surya. Hasil menunjukkan bahwa temperatur box pendingin akan lebih cepat menurun jika menggunakan arus listrik PLN, hal ini dikarenakan arus listrik PLN selalu konstan ketika digunakan, berbeda halnya penggunaan listrik dari panel surya yang bergantung dengan perubahan cuaca. Tegangan arus listrik di awal waktu pengujian 27.3 Volt dan akan terus meningkat hingga puncaknya pada siang hari hingga mencapai 36.1 Volt. Koefisien kemampuan kerja mesin juga diuji, yaitu pada saat penggunaan arus listrik PLN nilai COP pada temperatur 25°C hanya mencapai 2.23 sedangkan dengan menggunakan arus listrik dari panel surya mampu mencapai 2.46 dan bersamaan akan berangsur turun ketika mencapai temperatur 0°C. Hal ini dikarenakan keuntungan penggunaan arus listrik yang bersumber dari energi matahari murah pada pencapaian yang sama.

Kata kunci: energi matahari, sistem pendingin, koefisien kinerja.

ABSTRACT

The application of the refrigeration system to the cooling system is increasingly being discussed and has now become the main need of the community. The classification of the use of the cooling system depends on the needs of the cooling system. The need for a cooling system is related to the cooling load that affects the use of electrical energy. This study aims to determine the effect of the cooling load on the electrical energy voltage in the system and the consumption of the amount of current used. The design of the cooling system in the form of a freezer is adjusted to the capacity of the electrical energy source obtained from a 400 WP solar panel. The use of refrigeration pumps is planned with a capacity of 1/4 PK with the aim of increasing energy use efficiency. The test is carried out by comparing data on PLN's electricity usage and electricity sourced from solar panels. The results show that the temperature of the cooler will decrease faster

when using PLN electricity, this is because the PLN electric current is always constant and when used, it is different from the use of electricity from solar panels which depends on weather changes. The electric current voltage at the beginning of the test time is 27.3 Volts and will continue to increase until its peak during the day until it reaches 36.1 Volts. The coefficient of machine workability was also tested, namely when using PLN electric current the COP value at a temperature of 25 °C only reached 2.2286, while using electric current from solar panels it was able to reach 2.4663 and at the same time it would gradually decrease when it reached a temperature of 0 °C. This is due to the advantages of using electric current sourced from cheap solar energy at the same achievement.

Keywords: *solar energy, cooling system, coefficient of performance.*

1. PENDAHULUAN

Semakin hari kebutuhan energi listrik semakin tinggi baik untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga, perkantoran, industri maupun layanan umum. Jumlah peningkatan kebutuhan energi listrik ini menjadikan krisis energi [1,2]. Hal ini menjadikan energi matahari sebagai solusi untuk dapat memenuhi kebutuhan energi listrik. Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik saat ini dengan menggunakan modul yang sering disebut panel surya yang dapat menghasilkan energi listrik sampai 1 kW/m² pada temperatur rata-rata 25°C. Namun kenyataannya jika dilihat di lapangan, pengaruh temperatur dari permukaan panel surya akan berdampak pada jumlah energi listrik yang dihasilkan baik dari jenis *monocrystalline* maupun *polycrystalline*.

Di masa sekarang, kebutuhan akan mesin pendingin telah menjadi prioritas bagi masyarakat, baik pada masyarakat perkotaan, maupun pedesaan. Mesin pendingin beroperasi dengan model-model sesuai dengan kebutuhan seperti *chiller*, box pendingin maupun sistem pendingin ruangan (AC) [3]. Saat ini, penggunaan mesin pendingin yang paling sering kita jumpai pengaplikasiannya pada sistem pengkondisian ruangan, pengawet bahan makanan dan minuman [4]. Beberapa tugas utama dari sistem pendingin ialah sebagai pengkondisian udara di sebuah ruangan dengan cara mempertahankan temperatur aman yang kita inginkan, kelembaban relatif, laju kecepatan sirkulasi udara dan kualitas udara. Keuntungan dari sistem pendingin udara ini, kita dapat mengendalikan batas atas dari temperatur yang kita inginkan, karena hal ini berhubungan dengan jumlah beban pendingin yang berada pada ruangan saat sistem pendingin dioperasikan.

Cara kerja dari sistem pendingin sebenarnya sangat sederhana dengan memindahkan beban pendingin ke fluida refrigeran dan dibuang melalui kondenser. Beban pendingin merupakan energi yang berasal dari benda yang memiliki potensi menghasilkan energi panas baik dari dalam ruangan maupun dari luar ruangan. Sumber dari panas yang dilepaskan oleh beban pendingin beberapa berasal dari peralatan rumah tangga seperti televisi, lampu, maupun peralatan listrik lainnya dan pengaruh yang cukup besar juga diperoleh dari luar ruangan yang terjadi secara konveksi maupun radiasi.

Pengujian kali ini dikerjakan pada alat pendingin berbentuk kotak yang dirancang menggunakan energi surya yang diperoleh dari panel surya untuk menggerakkan kompresor refrigeran sehingga kotak pendingin ini bekerja. Penggunaan kotak pendingin yang menggunakan energi surya belum kelihatan muncul di masyarakat. Dengan memanfaatkan energi listrik yang diperoleh dari panel surya yang cukup besar sisa energi listrik yang dihasilkan juga dapat digunakan untuk kebutuhan listrik untuk penerangan. Sasaran dari penelitian ini ialah para petani, masyarakat yang memiliki usaha di rumah maupun luar rumah untuk dimanfaatkan dalam menjaga kesegaran bahan-bahan makanan dan dapat bertahan beberapa hari jika berada pada kotak pendingin [5].

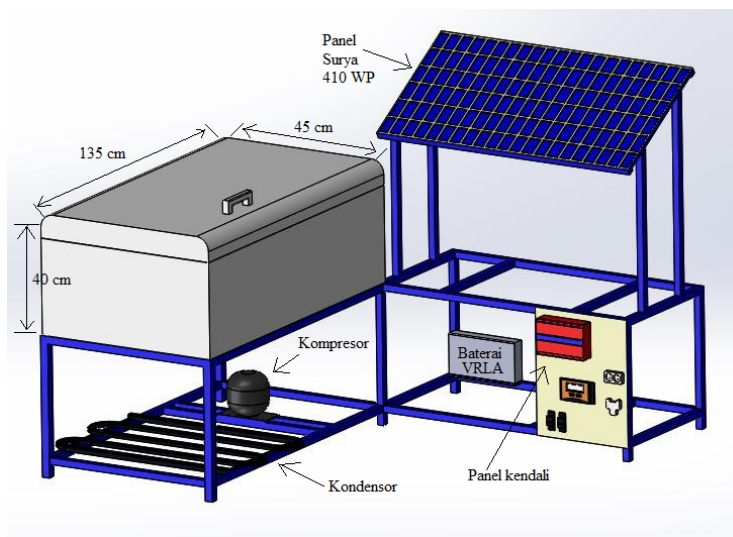
Jika nelayan membawa kotak pendingin ini, maka pada siang hari panel surya akan menangkap energi matahari dan mengubahnya ke dalam bentuk energi listrik dan menyimpannya ke dalam baterai. Energi listrik yang masuk diatur oleh sistem pengecasan agar arus yang dihasilkan tetap stabil. Energi listrik yang disimpan pada baterai digunakan untuk menyalakan kotak/box pendingin dan beberapa sistem kelistrikan lainnya. Hal yang serupa telah dilakukan peneliti sebelumnya akan tetapi penggunaan listrik tidak bersumber dari energi surya. Ratu mutia fajarani 2009, membuat sebuah percobaan sistem pendingin

penyimpan daging, dengan menggunakan metode eksperimental secara langsung, diperoleh hasil bahwa beban pendingin luar sebesar 11.6 kW, dan beban pendingin dalam 138.8 kW dan nilai koefisien kerja operasi (COP) sebesar 2 [6]. Topan rombe buntu 2017, melakukan hal yang sama yaitu membuat sebuah sistem box pendingin makanan dengan tujuan penelitian yaitu menganalisis beban pendingin yang terdiri dari terong, ketimun, dan bir, dan diperoleh hasil beban pendingin dan konsumsi daya yang dibutuhkan oleh mesin tersebut berbeda-beda seperti sayuran terong beban pendinginnya 62.91 kJ dengan daya sebesar 241.23 watt, buah tomat besar beban pendingin 60.36 dengan daya 235.62 watt, ketimun beban pendingin sebesar 41.55 kJ dengan daya sebesar 243.1 watt, dan minuman bir besar beban pendinginnya 18.21 kJ dengan daya listrik 231.88 watt [7].

Dari beberapa sumber referensi yang diperoleh dan dijadikan sebagai pedoman dalam mengembangkan dan menginovasi disimpulkan bahwa adanya kesempatan untuk membangun sebuah sistem pendingin yang menggunakan energi surya sebagai energi utama, untuk itu diperlukan pengujian seberapa besar tegangan listrik yang dihasilkan, daya, kuat arus dan besar kinerja yang dapat diberikan alat ini. Sehingga waktu pengoperasian dari sistem pendingin dapat tercapai sebagaimana sesuai target cepat pendinginan yang diinginkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Perencanaan dimulai dengan memperhatikan dimensi dari mesin pendingin, dengan merancang sistem pendingin yang mudah untuk dioperasikan baik dari kalangan remaja sampai dengan orang tua. Kapasitas dari mesin pendingin juga direncanakan cukup besar yaitu mencapai 30 kg dengan titik terendah dingin maksimum -5°C pada saat beban mencapai puncaknya. Untuk panel surya sendiri, direncanakan diposisikan miring dengan sudut kemiringan mencapai 40° , sejajar dengan posisi terbit dan terbenamnya matahari. Sehingga saat pengambilan data dilakukan, energi panas yang dipancarkan dari matahari sampai ke permukaan panel surya, dimulai dari pagi hari hingga menjelang matahari terbenam. Pengambilan data dilakukan secara teratur dimulai dari jam 08.00 AM hingga pukul 17.00 PM.



Gambar 1. Skema dari mesin box pendingin

Bahan dan peralatan yang digunakan saat pengujian terdiri dari panel surya dengan tipe *monocrystalline* kapasitas 410 WP, dengan sistem refrigrasi menggunakan jenis 134a kompresor 1/4 PK, pipa tembaga dan box pendingin kapasitas 30 kg. Sedangkan sistem alat ukur dibutuhkan termokopel yang mampu merekam temperatur pada titik yang diinginkan serta alat pengukur kuat dari intensitas cahaya matahari saat melakukan pengujian.

2.1 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan secara langsung di ruangan terbuka agar sistem pendingin mendapatkan sinar matahari secara langsung dari pagi hingga sore hari. Langkah-langkah yang dilakukan saat pengujian dimulai dengan mengukur tegangan dari listrik yang dihasilkan oleh panel surya setiap jamnya dan memastikan peralatan pendingin berjalan dengan baik hingga sistem refrigerasi berjalan dengan stabil.

2.2 Persaman Matematika

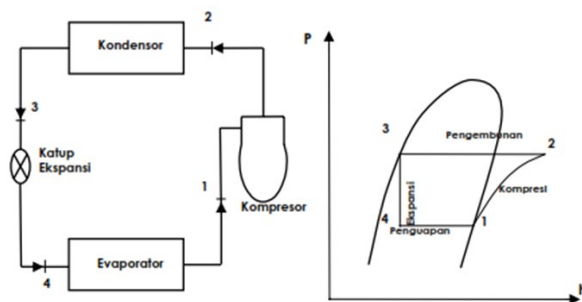
Refrigeran yang berada di dalam sistem pendingin dikompresikan dan mengalir melewati evaporator sehingga terjadi penyerapan energi panas dan refrigeran menguap. Selanjutnya terjadi proses pelepasan dan penerimaan panas pada ruangan dan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (1)$$

Dimana \dot{m} merupakan laju aliran refrigeran dalam sistem (kg/s) dan h_1 merupakan entalpi gas dari gas ke cair (kJ/kg). Penerapan sistem kerja laju perpindahan panas pada hukum termodinamika yaitu volume atur yang bekerja pada kompresor sehingga daya kompresor dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$P = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2)$$

Adapun diagram kerja dari sistem pendingin yang sering disebut dengan sistem tertutup dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Diagram P-h kerja dari sistem pendingin [8]

Dimana pada sistem kerja volume atur melingkupi kompresor dan kondensator, laju perpindahan panas dari refrigeran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (3)$$

Dimana nilai h_4 merupakan entalpi spesifik cairan jenuh (kJ/kg), dan h_{f4} merupakan entalpi spesifik campuran (kJ/kg), dan h_g entalpi spesifik uap jenuh (kJ/kg). Sehingga energi yang berpindah dari pipa kapiler ke mesin pendingin sebesar.

$$Q = \dot{m}(h_3 - h_4) \quad (4)$$

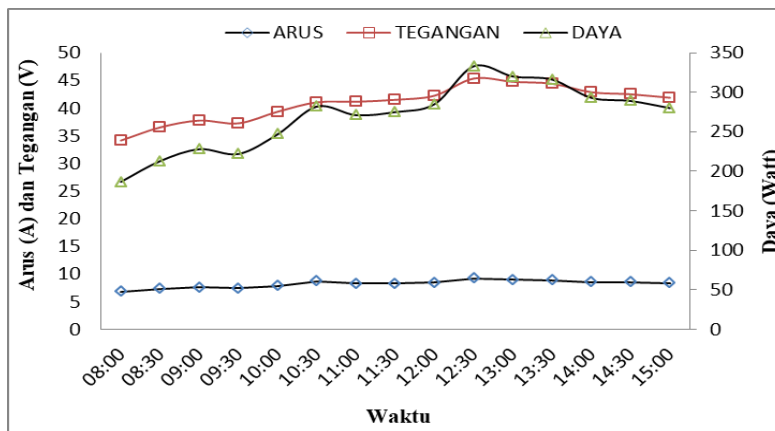
Dimana nilai h_3 merupakan entalpi spesifik cairan jenuh (kJ/kg) dan nilai Koefisien prestasi (COP) dari siklus uap standar dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$COP = Q_e / P \quad (5)$$

Setelah proses pengujian dilakukan maka data yang diperoleh digunakan untuk dibahas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

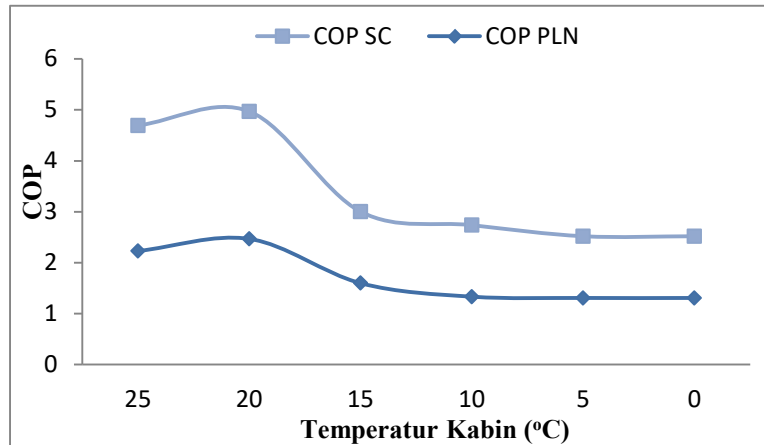
Pengaruh dari sudut datang matahari sangat berdampak pada hasil energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Hal ini difokuskan untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap tegangan yang mampu dihasilkan. Posisi pemasangan panel surya dilakukan dengan meletakkan panel sejajar dengan arah datangnya matahari pada waktu pagi hari dengan sudut 40°. Gambar 3 merupakan data hasil dari pengujian panel surya untuk mengetahui perbandingan arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Pengujian dilakukan secara langsung dengan hasil yang dapat dilihat gambar 3 menunjukkan tingkat tinggi dan rendah dari kuat arus, tegangan dan daya pada setiap jamnya.



Gambar 3. Grafik kuat, tegangan dan daya terhadap waktu

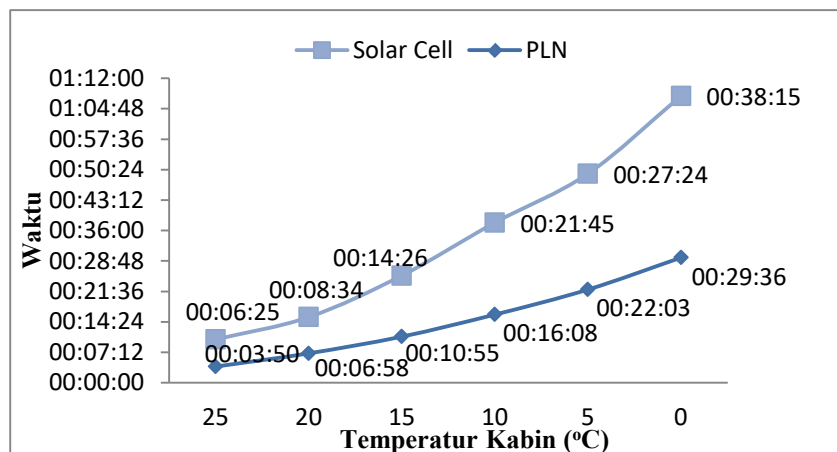
Arus listrik yang diperoleh dari pengujian cenderung datar karena sedikit sekali menunjukkan peningkatan jumlah arus yang masuk karena pada kekuatan arus puncak 9.25 ampere merupakan hasil yang sudah baik untuk panel surya. Pada gambar 3 peningkatan tegangan arus listrik mengalami peningkatan beriring waktu, begitu juga dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya terus naik. Pada awal pengujian di pagi hari pukul 08.00 tegangan arus listrik diperoleh 27.3 Volt dan terus meningkat sampai puncaknya pada siang hari hingga 36.1 Volt. Tidak jauh berbeda dengan arus listrik, daya yang diperoleh juga mengalami peningkatan yang bersamaan dengan

voltase arus listrik dengan daya awal di waktu yang sama 186.73 watt dan pada daya puncak 333.92 watt. Untuk melihat sejauh mana peningkatan kemampuan dari box pendingin, perbandingan dengan nilai koefisien kerja sistem pendingin dilakukan menggunakan arus listrik bersumber PLN dan arus dari panel surya.



Gambar 4. Perbandingan Temperatur Kabin Terhadap COP

Pada Gambar 4 terlihat jelas nilai COP yang didapat oleh panel surya lebih tinggi dibandingkan dengan nilai COP yang didapat oleh arus listrik PLN. Pada temperatur 25 °C nilai COP dari panel surya 2.46 dan mengalami kenaikan pada temperatur 20 °C sebesar 2.50 dan mengalami penurunan drastis sampai temperatur 0 °C sebesar 1.21. Sedangkan pada temperatur 25 °C nilai COP dari arus listrik PLN 2.23 dan mengalami kenaikan pada temperatur 20 °C sebesar 2.46 dan mengalami penurunan dan akhirnya stabil pada temperatur 0°C sebesar 1.30. Hal ini terjadi dikarenakan adanya loncatan dan penurunan kuat arus secara drastis dari panel surya yang membuat kinerja dari mesin yang baik dan murah biaya listrik karena mengambil dari sinar matahari. Gambar 5 merupakan hasil perbandingan waktu untuk mencapai titik 0°C pada box pendingin dengan menggunakan arus listrik PLN dan arus listrik hasil dari panel surya.



Gambar 5. Perbandingan Temperatur Kabin Terhadap Waktu

Pada Gambar 5 menunjukkan perbandingan temperatur kabin terhadap waktu pengujian, di sini terlihat jelas bahwa waktu untuk mencapai titik beku yaitu 0 °C lebih lama menggunakan solar cell dibandingkan dengan menggunakan aliran listrik PLN. Hal ini dikarenakan penggunaan arus listrik dari panel surya tidak selalu dalam keadaan konstan karena adanya penurunan tegangan dan jumlah arus akibat perubahan kecerahan cuaca. Sedangkan penggunaan arus listrik PLN akan terjadi dengan baik dan konstan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dilakukan, diperoleh informasi bahwa perubahan kecerahan cuaca mempengaruhi hasil dari jumlah arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan juga akan menurunkan tegangannya, sehingga daya listrik pada panel surya menurun. Selain itu, adanya penurunan mempengaruhi nilai waktu beku yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 0°C, lebih cepat membeku jika menggunakan arus listrik yang bersumber dari PLN dibandingkan menggunakan arus listrik yang bersumber dari panel surya. Hal ini dipengaruhi adanya nilai konstan dari arus listrik PLN membuat kinerja dari lemari pendingin tidak turun naik dan energi panas yang diserap akan perlahan berkurang tidak kembali ke temperatur awal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Y. Setyawan and H. Ambarita, “A Preliminary Field Test of a Natural Vacuum Solar Desalination Unit Using Hybrid Solar Collector” *International Conference on Thermal Science and Technology (ICTST)*, 2018, doi: 10.1063/1.5046598.
- [2] M. A. Siregar, K. Umurani, and W. S. Damanik, “Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Gas Hidrogen Yang Dihasilkan Dari Proses Elektrolisis Air Garam,” *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 57–65, 2020, doi: 10.23917/mesin.v21i2.10386.
- [3] L. Lin, X. Liu, T. Zhang, X. Liu, and X. Rong, “Cooling load characteristic and uncertainty analysis of a hub airport terminal,” *Energy Build.*, vol. 231, no. xxxx, p. 110619, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110619.
- [4] P. Q.T., L. S.J., L. M.P.F., and C. A.C., “A New Method of Predicting the Time-Variability of Product Heat Load During Food Cooling - Part 2 : Experimental Testing *,” *J. Food Eng.*, vol. 18, no. 37, pp. 37–62, 1993.
- [5] S. Rosiek, M. S. Romero-Cano, A. M. Puertas, and F. J. Batlles, “Industrial food chamber cooling and power system integrated with renewable energy as an example of power grid sustainability improvement,” *Renew. Energy*, vol. 138, pp. 697–708, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.02.010.
- [6] R. M. Fajarani, Y. Handoyo, and R. H. Rahmanto, “Analisis Beban Pendinginan Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Daging,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 12–22, 2019, doi: 10.33558/jitm.v7i1.1905.
- [7] T. R. Buntu, F. P. Sappu, and B. L. Maluegha, “Analisis Beban Pendinginan Produk Makanan Menggunakan Cold Box Mesin Pendingin LUCAS NULLE TYPE RCC2,” *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 6 (1), pp. 20–31, 2017.
- [8] K. Anwar, “Efek Beban Pendingin terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin,” *J. SMARTek*, vol. 8, no. 3, p. 203, 2010.